

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2012

Aleš Vybíral

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Laboratorní úloha měření tympanometrie

Laboratory Task of Measurement of Tympanometry

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Aleš Vybíral**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: **Laboratorní úloha měření tympanometrie**
Laboratory Task of Measurement of Tympanometry

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce bude popsat a provést měření pomocí tympanometrie.

1. Teoretická část bude zaměřena na anatomii a fyziologii hlavových nervů, zejména sluchově rovnovážného a lícního, sluchovou dráhu a funkci sluchové trubice.
2. V praktické části bude prováděno měření pomocí tympanometrie.
3. Výsledky budou prezentovány v přehledných grafech a tabulkách.
4. V závěru bude provedeno zhodnocení výsledků práce i přínos, který její řešení znamenalo pro autora BP.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. HAHN, A. a kolektiv. *Ortolaryngologie a foniatrie v současné praxi*. Praha: Grada, 2006. 392 s. ISBN 978-80-247-0529-3.
2. DYLEVSKÝ, J. *Funkční anatomie*. Praha: Grada, 2009. 544 s. ISBN 978-80-247-3240-4.
3. ČIHÁK, R. *Anatomie* 3. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2002. 673 s. ISBN 80-7169-140-2.
4. NOVÁKOVÁ, I. *Ošetřovatelství ve vybraných oborech*. Grada Publishing a.s., 2011. 235 s. ISBN 978-80-247-3422-4.
5. Uživatelský dokument firmy Otometrics Madsen. OTOflex 100 User Manual. Dostupné z: <http://www.audiobm.rs/download/Madsen%20OTOflex%20100%20Uputstvo%20za%20upotrebu.pdf>. (Doc no. 7-50-0880/11).

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. Jindřich Černožský, CSc.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum odevzdání: 04. 05. 2012



Aleš Vybíral

Poděkování

Děkuji doc. RNDr. Jindřichu Černohorskému, Csc., vedoucímu mé bakalářské práce, za cenné rady a připomínky, které mi v průběhu psaní poskytl.

Abstrakt

Tato práce se zabývá měřením funkčnosti středoušního zesilovacího aparátu, zesilující však intenzitu na úkor amplitudy absorbované akustické energie. Středoušní převodní systém pracuje na principu nerovnoramenných pák. Vede kmity o určité intenzitě středouším vyvolané akustickým tlakem okolí tlačící na bubínek a přenáší je dále oválným okénkem do hlemýždě. Tympanometrie vyšetřuje ztuhlost středoušního systému a poddajnost bubínku při změnách tlaku ve středouší.

Bakalářská práce popisuje středoušní systém a parametry přístroje Madsen OTOflex 100. Stanovuje postupy, podle kterých by se mělo při provádění měření tympanometrie postupovat. Zahrnuje upozornění o vyvarování chyb při provádění jednotlivých úkonů. V závěru jsou uvedeny výsledky provedených měření, které jsou i vyhodnoceny. V příloze je uveden návrh sestavení laboratorní úlohy, který by měl s touto prací sloužit jako vzdělávací materiál.

Klíčová slova

akustická admitance, akustická energie, třmínkový reflex, intenzita, středoušní systém, tlak, tympanogram, tympanometrie

Abstract

This work is engaged in measurement of middle-ear's amplifying system function, which amplifies intensity and lowers amplitude of absorbing acoustic energy accordingly. Middle ear system is based on the work of unequal levers. It leads certain intensity oscillations caused by surrounding sound pressure through middle ear cavity pressing on tympanic membrane and it's further transmitted to the oval window of the cochlea.

Bachelor work describes the middle-ear system and characteristics of Madsen OTOflex 100 device. It establishes procedures which should be followed when making measurements. This work includes warnings about avoiding mistakes in the implementation of individual tasks. At the end of document there are results of measurements, which are also evaluated. In the appendix there is a proposed preparation laboratory task, which should serve as a educational material with this work.

Key words

acoustic admittance, acoustic energy, acoustic threshold reflex, intensity, middle-ear system, pressure, tympanogram, tympanometry

Seznam použitých zkratk

CNS	Centrální nervová soustava
TPP	Tympanometric peak pressure
TW	Tympanometric width
ECV	Equivalent ear canal volume
SA	Static admittance
PC	Personal computer

Obsah

1	ÚVOD.....	1
2	HLAVOVÉ NERVY	2
2.1	Anatomie a fyziologie hlavových nervů.....	2
2.1.1	I. nervi olfactorii (čichové nervy)	2
2.1.2	II. nervus opticus (zrakový nerv)	2
2.1.3	III. nervus oculomotorius (okohybný nerv)	2
2.1.4	IV. nervus trochlearis (kladkový nerv)	2
2.1.5	V. nervus trigeminus (trojklaný nerv).....	2
2.1.6	VI. nervus abducens (odtahovací nerv)	3
2.1.7	VII. nervus facialis (lící nerv).....	3
2.1.8	VIII. nervus vestibulocochlearis (rovnovážný a sluchový nerv)	4
2.1.9	IX. n. glossopharyngeus (jazykohltanový nerv)	4
2.1.10	X. n. vagus (bloudivý nerv)	4
2.1.11	XI. n. accessorius (přídavný nerv).....	5
2.1.12	XII. n. hypoglossus (podjazykový nerv).....	5
3	SLUCHOVÁ DRÁHA	6
3.1	Fyziologie sluchové dráhy	6
3.2	Anatomie sluchové dráhy	7
3.2.1	1. neurony	7
3.2.2	2. neurony	7
3.2.3	3. neurony	7
3.2.4	4. neurony	7
3.2.5	Sestupné kontrolní spoje	7
3.3	Funkce sluchové dráhy	8
4	SLUCHOVÁ TRUBICE	9
4.1	Fyziologie Eustachovy trubice.....	9
4.2	Anatomie Eustachovy trubice.....	9
4.3	Funkce Eustachovy trubice.....	9
5	STŘEDOUŠNÍ KŮSTKY	10
5.1	Fyziologie středoušních kůstek.....	10

5.2	Anatomie středoušních kůstek	10
5.2.1	Malleus (kladívko)	10
5.2.2	Incus (kovadlinka)	10
5.2.3	Stapes (třmínek)	10
5.3	Funkce středoušních kůstek	11
6	HLAVNÍ TYMPANOMETRICKÉ POJMY	12
6.1	Zvuk	12
6.2	Zdroj zvuku	12
6.3	Intenzita zvuku	12
6.4	Decibel	12
6.5	Akustický tlak	12
6.6	Akustická impedance	12
6.7	Práh sluchu	13
6.8	Konduktance	13
6.9	Admitance	13
6.10	Susceptance	13
6.11	TPP	13
6.12	TW	13
6.13	ECV	13
6.14	SA	13
7	TYMPANOMETRIE	14
7.1	Princip tympanometrie	14
7.2	Atributy tympanometrické křivky	14
7.2.1	Výška křivky	14
7.2.2	Vrchol křivky	14
7.2.3	Tvar křivky	15
7.3	Typy tympanometrické křivky	15
7.3.1	Tympanometrické křivky typu A	15
7.3.2	Tympanometrické křivky typu B	16
7.3.3	Tympanometrická křivka typu C	16
7.4	Třmínkový reflex	17
7.4.1	Význam třmínkového reflexu	18

8	TYMPANOMETR	19
8.1	Madsen OTOflex 100	19
8.1.1	Technické specifikace:	19
8.1.2	Hlavní ovládací prvky tympanometru Madsen OTOflex 100.....	21
8.2	Software OTOsuite	22
9	TYMPANOMETRICKÉ VYŠETŘENÍ	25
9.1	Zajištění správného prostředí	25
9.2	Příprava přístroje	25
9.2.1	Zapojení přístroje	25
9.2.2	Ušní sonda	25
9.2.3	Nastavení přístroje	27
9.3	Příprava pacienta	29
9.3.1	Výběr vhodného ušního šputnu sondy	29
9.3.2	Zavedení sondy	30
9.3.3	Zavedení Ipsi sondy do zvukovodu	31
9.3.4	Unikání vzduchu	31
9.4	Průběh vyšetření	32
9.4.1	Tympanometrie	33
9.4.2	Výbavnost třmínkového reflexu	34
9.4.3	Rozpad třmínkového reflexu	36
10	ANALÝZA NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ	37
10.1	Tympanometrie	37
10.2	Výbavnost třmínkového reflexu	42
11	ZÁVĚR	43
	Seznam použité literatury	44

1 ÚVOD

K vlastnímu přežití člověk potřebuje smysly, kterých má pět. Jedním z nich je sluch. Život bez něj si jen málokdo dokáže představit a nad jeho možnou ztrátou raději ani nepřemýšlí. Přitom se kolem něj objevuje v dennodenním životě mnoho příležitostí, kdy si může poruchu sluchu snadno přivodit.

Proces samotného slyšení je velice složitý a komplikovaný soubor několika propojených a na sobě závislých biologicko-fyzikálních dějů, z nichž ještě některé nebyly doposud zcela objasněny. V této bakalářské práci bude pozornost soustředěna zejména na střední část ucha, kde se vyskytují hlavně fyzikální zákonitosti. Cílem této práce bude prověřit správnou funkčnost středoušního systému, který se uplatňuje v aparátu jako zesilovač přichozího mechanického vlnění.

Vyšetření, které danou problematiku vyhodnocuje, se nazývá tympanometrie. Tympanometrické měření spočívá v detekování a snímání množství odražené akustické energie od bubínku po generování tónu o určité frekvenci, tedy akustické energie napříč zvukovodem, kdy se vyhodnocuje akustická admitance a compliance (neboli poddajnost středoušního systému kůstek a bubínku) v závislosti na změně tlaku na obou stranách bubínku. Vyšetření bude prováděno na přístroji Madsen OTOflex 100.

V jednotlivých kapitolách budou čtenáři seznámeni se středoušním sluchovým systémem, způsobem vyšetření, zahrnující důkladný návod a přípravu měření, a podrobným popisem přístroje.

Závěrem bakalářské práce bude analýza naměřených výsledků a sestavení laboratorní úlohy, která přiblíží čtenářům, především studentům biomedicínského zaměření, tympanometrii a tympanometr Madsen OTOflex 100 po technické stránce.

2 HLAVOVÉ NERVY

Za hlavové, mozkové neboli kraniální nervy považujeme ty nervy, které jsou součástí periferní nervové soustavy (*systema nervosum periphericum*) a vstupují nebo vystupují v oblasti mozku, jeho hemisfér, mezimozku a mozkového kmene. Je jich 12 párů.

2.1 Anatomie a fyziologie hlavových nervů

2.1.1 I. nervi olfactorii (čichové nervy)

Čichové nervy jdou ze sliznice dutiny nosní skrze otvory v lamina fibrosa čichové kosti do bulbus olfactorius. Mají původ v telencephalonu a jsou senzorického typu. Čichové nervy přenášejí pachové informace do mozku. [2,3]

2.1.2 II. nervus opticus (zrakový nerv)

Jedná se o svazek nervových vláken, přicházejících z oční bulvy skrze canalis opticus. Původem optického nervu je diencephalon a jde se o senzorický nerv. Nervus opticus přenáší vizuální informace do mozku, který přijímané informace zpracovává. [2,3]

2.1.3 III. nervus oculomotorius (okohybný nerv)

Okohybný nerv vystupuje z prohlubně ve fossa interpeduncularis na bazi mesencephala. Nervus oculomotorius je motorický nerv, který inervuje většinu okohybných svalů oční bulvy a sval očního víčka. Má původ ve středním mozku. [2,3]

2.1.4 IV. nervus trochlearis (kladkový nerv)

Nervus trochlearis vystupuje jako jediný z hlavových nervů na dorsální straně mozkového kmene. Obtáčí mesencephalon po jeho zevní straně a objevuje se na bazi mozkového kmene dorsolaterálně od. n. oculomotorius. Kladkový nerv je motorický nerv zajišťující pohyb horního šikmého svalu očního. [2,3]

2.1.5 V. nervus trigeminus (trojklaný nerv)

Trojklaný nerv vystupuje jako silný svazek z mozkového kmene, kde většina vláken vstupuje – sensitivní vlákna a menší část vystupuje – motorická vlákna, laterálně na rostrální straně Varolova mostu. Trojklaný nerv je nerv jak motorický tak nerv senzorický. Dělí se na tři větve:

- 1. větev oftalmická – oblast očníce (jde přes fissura orbitalis superior a sinus cavernosus)
- 2. větev maxiliární – oblast horní čelisti (z fossa pterygopalatina a foramen rotundum jde krátký kmen přes dolní část boční stěny sinus cavernosus)

- 3. větev mandibulární – oblast dolní čelisti (z fossa infratemporalis pod bází lebni přes foramen ovale) [2,3]

2.1.6 VI. nervus abducens (odtahovací nerv)

Odtahovací nerv vystupuje blíže střední čáry na rozhraní prodloužené míchy a pontu. Nervus abducens má původ ve Varolově mostu. Jde o motorický nerv, který inervuje zevní přímý sval oční. [2,3]

2.1.7 VII. nervus facialis (lícni nerv)

Nervus facialis je smíšený hlavový nerv, který zahrnuje různé senzitivní (pro části jazyka), motorické (pro mimické a některé další svaly) i parasympatické vlákna. Lícni nerv vystupuje v úhlu mezi Varolovým mostem, mozečkem a prodlouženou míchou (v tzv. mostomozečkovém úhlu). VII. hlavový nerv obsahuje dva funkčně odlišné systémy vláken n. facialis a n. intermedius. Oba systémy mají svá jádra s buňkami různých funkcí. Nervus facialis má své jádro nucleus nervi facialis, které se nachází na spodině IV. mozkové komory. Nervus facialis vede z tohoto jádra motorická vlákna pro svaly vzniklé z 2. embryonálního žaberního oblouku. Dále z tohoto jádra vedou vlákna pro téměř veškeré mimické svaly obličeje, měkkých lebečních pokrývek a zevního ucha. Vlákna nervus intermedius samostatně vystupují vedle n. facialis a jsou určena pro slznou žlázu, žlázy dutiny nosní, ústní a paranasálních dutin.

„Kmen nervu vzniká spojením n. facialis a n. intermedius a po vstupu do fundus meatus akustici interni prochází v canalis nervi facialis až do foramen stylomastoideum. Po výstupu z foramen stylomastoideum se nerv stáčí dopředu pod zevní zvukovod. Dále zezadu vstupuje do glandula parotis, kde se dělí ve větší počet větví, které vytvářejí plexus intraparotideus. Z této pleteně pak vybíhají větve do mimických svalů.“ [2]

Hlavní větve nervu vystupující v canalis facialis:

- 1. n. petrosus major – patří k n. intermedius jako nerv převážně parasympatický
- 2. r. communicans cum plexu tympanico – jedna nebo více větví jdoucích do plexus tympanicus ve středoušní dutině
- 3. n. stapedius – drobný, ale funkčně důležitý motorický nerv
- 4. chorda tympani – prochází skrz ossicula auditus
- 5. n. auricularis. posterior – motoricky inervuje zadní svaly boltce a sensitivně inervuje kůži dolní části boltce
- 6. r. digastricus – větev pro motorickou inervaci zadního bříška m. digastricus
- 7. r. stylohyoideus tenká větévka pro inervaci m. stylohyoideus

Hlavní funkcí motorických vláken (jichž je asi 60%) lícniho nervu je inervace mimických svalů. Tyto svaly ovládají veškeré výrazy obličeje. Parasympatická vlákna se přepojují ve dvou gangliích a poté inervují slznou žlázu a různé žlázy v ústní a nosní dutině. Senzitivní vlákna přenášejí informace o změnách vznikajících ve svalech, sensitivní inervaci boltce a většiny zevního zvukovodu. Sensorická vlákna vedou podněty z chuťových receptorů předních dvou třetin jazyka. [2,3]

2.1.8 VIII. nervus vestibulocochlearis (rovnovážný a sluchový nerv)

Osmý hlavový nerv – nervus vestibulocochlearis – je senzitivní hlavový nerv, který přivádí do mozku smyslové informace z Cortiho orgánu ve vnitřním uchu a z rovnovážného orgánu (nitroušního labyrintu). Vystupuje v těsné blízkosti lícního nervu. Název nervu je odvozen podle dvou smyslových orgánů, z nichž přijímá signály. Skládá se ze dvou hlavních složek – nervus vestibularis (rovnovážný nerv) a nervus cochlearis (sluchový nerv).

- Nervus vestibularis – Dendrity bipolárních buněk ganglion vestibulare začínají rozvětvením u receptorových smyslových buněk ve vestibulární části blanitého labyrintu. Přijímají signály o poloze hlavy vůči gravitaci (zrychlení), o změnách polohy hlavy a o otáčivém zrychlení pohybů hlavy. Tyto podněty jdou dále do bipolárních buněk a vytvářejí při tom typické skupiny vláken, které lze identifikovat podle průchodu jednotlivými místy. Axony bipolárních buněk vstupují v mostomozečkovém koutu vedle n. facialis do pontu a končí u buněk nuclei vestibulares.
- Nervus cochlearis – Dendrity buněk kochleárního ganglia začínají u receptorových vláskových smyslových buněk v organum spirale v Cortiho orgánu a jdou ve spirální kostěné liště rozdělující kanálek kostěného hlemýždě k modiolu do bipolárních buněk ganglion cochleare. Dendrity vedou sluchové signály. Axony buněk kochleárního ganglia jdou rovnoběžně s podélnou osou kuželovitého modiolu hlemýždě, takže vytvářejí spirální systém podélných kanálků s nervovými vlákny, který pak jako soubor otvůrků končí ve fundus meatus acustici interni. Těmito otvůrkami projdou vlákna n. cochlearis do nitra lebky a vstupují spolu s vlákny n. vestibularis a s n. facialis v mostomozečkovém koutu a končí u buněk nuclei cochleares. [2,3]

„Nervus vestibulocochlearis svou vestibulární složkou přivádí z nitroušního labyrintu signály o poloze hlavy a jejích změnách (sklonění) a o otáčivých pohybech hlavy. Svou kochleární složkou přivádí signály ze senzorických buněk Cortiho orgánu, čímž zajišťuje vnímání zvuku.“ [2]

2.1.9 IX. n. glossopharyngeus (jazykohltanový nerv)

Vystupuje na laterální straně prodloužené míchy, dorsálně od oválného tělíska zvaného oliva. Obsahuje motorická, sensitivní a autonomní (parasymptická) vlákna. Jedná se tedy o smíšený nerv. Jeho funkcí je jak inervace zadní třetiny jazyka a hltanové žlázy, tak i funkce polykání. [2,3]

2.1.10 X. n. vagus (bloudivý nerv)

Bloudivý nerv vystupuje dorsálně od olivy v kaudálním pokračování od předchozího nervu. Stejně jako u předchozího nervu se jedná o nerv smíšený – obsahuje motorická, sensitivní i parasymptická vlákna. Nervus vagus motoricky inervuje spolu s n. IX svaly měkkého patra a hltanu. Samotný pak inervuje svaly hrtanu. Bloudivý nerv parasympticky inervuje hladké svalstvo, žlázy dýchacích cest a většinu trávicí trubice, srdce a velké cévy

(snižuje krevní tlak a frekvenci stahů srdce). Cestou desátého kraniálního nervu je také snímán reflex hladu. [2,3]

2.1.11 XI. n. accessorius (přídavný nerv)

Přídavný nerv vystupuje také stejně jako předchozí nerv dorsálně od olivy v kaudálním pokračování předchozího nervu. Část vláken tohoto nervu přichází až ze začátku hřbetní míchy. Jedná se o motorický nerv, který motoricky inervuje především m. sternocleidomastoideus a trapézový sval. Dále pak motoricky inervuje některé svaly hrtanu. [2,3]

2.1.12 XII. n. hypoglossus (podjazykový nerv)

Podjazykový nerv vystupuje četnými vlákny z prodloužené míchy ventrálně od olivy. U podjazykového nervu se jedná o motorický nerv. Jeho hlavní funkcí je motoricky inervovat svaly jazyka. [2,3]

3 SLUCHOVÁ DRÁHA

3.1 Fyziologie sluchové dráhy

Sluchová dráha je čtyřneuronová vzestupná dráha, která přenáší sluchové signály z Cortiho orgánu vnitřního ucha postupně až do primární sluchové korové oblasti. Sluchový vjem začíná podrážděním vláskových buněk Cortiho orgánu chvěním bazilární membrány. Stereocilie vnitřních vláskových buněk se dotýkají pektorální membrány a při pohybech bazilární membrány se ohýbají. Jelikož je cytoskelet stereocilií spojen s mechanicky řízenými iontovými kanály, mění se permeabilita membrány. Mezi endolymfou, do které jsou zanořeny stereocilie a přilehlá část membrány vláskových buněk, a perilymfou, obklopující těla buněk, je výrazný rozdíl v koncentraci iontů K^+ , a tedy i značný elektrický potenciál (+80 mV). Zvýšení propustnosti iontových kanálů tedy vede ke vstupu draslíkových kationtů do buňky a depolarizaci membrány, doprovázené vstupem Ca^{2+} do buňky, výdejem neurotransmiteru (glutamat, aspartát) a aktivací postsynaptického segmentu. Ohnutí stereocilií na druhou stranu pak vede k hyperpolarizaci a snížení frekvence akčních potenciálů generovaných na axonu prvního neuronu.

Zevní vláskové buňky jsou napojeny na eferentní vlákna a toto spojení má vlastnosti motorické ploténky – cholinergní přenos. Podobně jako u svalových buněk umožňuje cytoskelet zevních vláskových buněk aktivní kontrakci, která může aktivně modulovat přenos zvuku na vnitřní vláskové buňky, zvyšovat citlivost přenosu a zlepšovat rozlišení výšky tónu nebo jiné parametry zvukového vstupu.

Vibrace bazilární membrány pohybují receptorovými buňkami proti stabilnější hmotě tektoriální membrány, o níž se svými vlásky opírají. Pohyby vlásků jsou přenášeny na mechanicky řízené iontové kanály, kdy se mění jejich propustnost a buňka se depolarizuje. Takto vzniklý receptorový potenciál je synaptickým mechanismem v místě bazálního pólu vláskových buněk přenášen na vlákna sluchového nervu a v podobě salv akčních potenciálů postupuje do dalších oddílů CNS. Rozdíly v intenzitě zvuku se projeví ve velikosti receptorového potenciálu a výsledně ve frekvenci a délce salv akčních potenciálů sluchového nervu.

Nervové vlákna vycházející z různých částí hlemýždě zachovávají po celé sluchové dráze svoji prostorovou orientaci. Korové neurony mají nejnižší práh pro úzký rozsah frekvencí, který odpovídá jejich receptivnímu poli na bazilární membráně. Zkřížená projekce z obou uší do mozkové kůry zajišťuje prostorovou orientaci. Z rozdílů intenzit signálů dopadajících do obou uší z jednoho směru a jejich fázového posunu je člověk schopen určit směr, odkud přichází zvuk, s velkou přesností.

Sluchové podněty mohou vyvolat oboustranný stah středoušních svalů při nadměrných hlasitostech zvuku, čímž dochází ke zpevnění celého řetězce. Tím je kladen větší odpor bubínku i vysoké akustické energii, která by mohla svým působením poškodit jemné struktury ucha. Tomuto projevu se říká tzv. tympanický reflex. Jeho dráha vychází z primárních sluchových vláken, která po přepojení ve sluchových jádrech mozkového kmene zásobují motorické neurony V. a VII. hlavového nervu.

Při vystavení v oblasti o velké intenzitě zvuku, nebo při dlouhodobém působení i středně intenzivního hluku, mohou být vláskové buňky poškozeny nebo i zničeny. Dále se již nemohou obnovit a ztráta sluchu je proto nevratná. [4]

3.2 Anatomie sluchové dráhy

Jak je uvedeno výše, sluchová dráha je čtyřneuronová vzestupná dráha.

3.2.1 1. neurony

První neurony sluchové dráhy představují bipolární buňky v ganglion cochleare nervi vestibulocochlearis, které jsou uloženy v modiolu kostěného hlemýžďe vnitřního ucha. Dendrity dosahují k smyslovým buňkám Cortiho orgánu v blanitém hlemýždi a přijímají od nich nervové vzruchy, které následně přeměňují na zvukové vjemy. Axony bipolárních buněk jdou skrze fundus meatus akustici interni jako součást n. vestibulocochlearis do dutiny lebeční, dále do mostomozečkového koutu, kde vstupují do mozkového kmene na hranici oblongaty a pontu. Končí v nucleus cochlearis ventralis a v nucleus cochlearis dorsalis.

3.2.2 2. neurony

Druhé neurony sluchové dráhy začínají z buněk kochleárních jader a tvoří nápadný svazek – lemniscus lateralis, který stoupá mozkovým kmenem do colliculus inferior. Průběh axonů z ventrálního a dorsálního kochleárního jádra se liší. Vlákná z nucleus cochlearis ventralis jdou napříč pontem v souboru vláken a buněk vmezeřených jader zvaném corpus trapezoideum. Dále pak pokračují do colliculus inferior, kde je část přepojena v nucleus olivaris superior, lateralis et medialis a další část v nuclei corporis trapezoidei. Vlákná z nucleus cochlearis dorsalis jdou napříč pod spodinou IV. komory ke střední čáře, kde se zanořují. Tam se připojují k vláknům corpus trapezoideum a dále vzestupují do colliculus inferior.

3.2.3 3. neurony

Třetí neurony sluchové dráhy jdou z colliculus inferior cestou brachium colliculi inferioris do corpus geniculatum mediale. Odbočky z 3. neuronu jdou do druhostranného corpus geniculatum mediale přímo nebo prostřednictvím přepojení v druhostranném colliculus inferior.

3.2.4 4. neurony

Čtvrté neurony sluchové dráhy jdou z buněk corpus geniculatum mediale do kůry – radiatio acustica – do primární sluchové korové oblasti na horním okraji gyrus temporalis superior.

3.2.5 Sestupné kontrolní spoje

Sestupné kontrolní spoje sluchové dráhy začínají v korových oblastech, v nichž sluchová dráha končí. Dále pak jdou do jader corpus geniculatum mediale, kde ovlivňují propustnost jader pro vzruchy sluchových signálů. Jiné podobné ovlivnění jde ze sluchové

korové oblasti s přepojením v colliculus inferior a v neuronech kolem horního olivárního jádra až do Cortiho orgánu v hlemýždi vnitřního ucha. [2,3]

3.3 Funkce sluchové dráhy

„Sluchová dráha vede vzruchy vznikající v receptorech zvuku a převádí je až do mozkové kůry, kde vstupují do vědomí a jsou dále zpracovány. Vzhledem k párovému uspořádání může být sluchovou dráhou prostorově určeno místo původu zvuků. Odbočky ze sluchové dráhy převádějí signály z vnitřního ucha na motorické systémy a zajišťují motorické odpovědi na slyšené zvuky.“ [2]

4 SLUCHOVÁ TRUBICE

Sluchová trubice (Eustachova trubice, tuba auditiva) je součástí systému středního ucha a zároveň důležitá součást všedního života pro vyrovnávání tlaku ve středouší.

4.1 Fyziologie Eustachovy trubice

Eustachova trubice je spojovací cesta, která vede ze středoušní dutiny do nosu a hltanu. Tuba auditiva, která je obvykle zavřená, slouží k zajištění správného atmosférického tlaku ve středním uchu na obou stranách ušního bubínku. Trubice se nakrátko otevře při polykání nebo při hlubokém dýchání nosem, a zajistí tak provzdušnění středního ucha. Změny tlaku vzduchu středního ucha jsou často cítit při změně nadmořské výšky, cestování výtahem nebo při letech letadlem.

Hlavní a správnou činnost Eustachovy trubice zajišťuje dvojice svalů – musculus tensor veli palatini a musculus levator veli palatini. Motorika těchto svalů je ovládána pomocí polykacích pohybů, kdy se mění průsvit trubice. Sval m. tensor veli palatini táhne za lamina membranacea tubae a pomáhá tak zpevnit a zúžit tubu. Předpokládá se, že sval m. levator má opačnou funkci, ale opačné účinky m. levatoru nebyly doposud potvrzeny. [4,5]

4.2 Anatomie Eustachovy trubice

Eustachova trubice vychází zpod stropu středoušní dutiny ventromediálně, přičemž se směrem do nosohltanu kaudálně svažuje. Trubice je nejprve vystlaná sliznicí vystupující ze středoušní dutiny v kostěném kanálu – pars ossea tubae auditivae – tento úsek leží navnitř od canalis caroticus a je dlouhý přes 1 cm, což je asi jedna třetina celkové délky tuby. Zbýlé dvě třetiny jsou tvořeny chrupavkou – pars cartilaginea tubae pharyngotympanicae – a sahají až k ústí tuby do faryngu. Celková délka Eustachovy trubice je tedy kolem 3 cm a v řezu trubice dosahuje šířky asi 2 mm. [2,3]

4.3 Funkce Eustachovy trubice

Jak je již uvedeno výše, Eustachova trubice slouží k vyrovnávání atmosférického tlaku, který je v nosohltanu, a tlaku ve středoušní dutině. Toto vyrovnávání tlaků je důležité pro správnou funkci převodu kmitů bubínku středoušními sluchovými kůstkami. Eustachova trubice má tedy funkci ventilační a drenážní, středoušní kůstky přizpůsobují impedanci vzduchu vysoké impedanci vnitřního ucha. Na přenos zvuku středním uchem působí m. stapedius a m. tensor tympani. Jejich práh bývá zpravidla 70 – 100 dB, kdy se napnou a ovlivní nízké kmitočty hladiny zvuku. Reflex se vybavuje oboustranně, jeho mohutnost je individuální. V důsledku impedančního přizpůsobení středoušním systémem je 70% energie přeneseno do vnitřního ucha. [2,1,3]

5 STŘEDOUŠNÍ KŮSTKY

Středoušní kůstky zajišťují správnou impedanci převodního systému a správnost převodu akustické energie do vnitřního ucha.

5.1 Fyziologie středoušních kůstek

Ossicula auditus (sluchové kůstky) vytvářejí pohyblivě (kloubně) spojený řetězec mezi bubínkem a oválným okénkem (fenestra ovalis). Tento soubor kůstek přenáší kmity bubínku, které jsou vyvolané zvukovými vlnami, do perilymfatického prostoru nitroušního labyrintu a na jeho obsah – perilymfu. Jedná se o soubor nerovnoramenných pák, které přenáší akustickou energii a mění její amplitudu a intenzitu. [2,4]

5.2 Anatomie středoušních kůstek

Středoušní kůstky se skládají ze tří kůstek – kladívko, kovadlinka a třmínek.

5.2.1 *Malleus (kladívko)*

Kladívko je kůstka kyjovitého tvaru s hlavicí a rukojetí, která je kloubně spojena s kovadlinkou. Hlavice kladívka (caput mallei) vyčnívá nad horní okraj bubínku, je větší a zaoblená. Na zadní straně má zakřivenou plošku ke kloubnímu spojení. Caput mallei dále kaudálně pokračuje v krček kladívka (collum mallei). Krček je krátký zúžený úsek, který kaudálně přechází v rukojeť kladívka (manubrium mallei), která je srostlá s bubínkem ve stria mallearis. Dalším útvarem na kladívku jsou processus lateralis, což je krátký výběžek uložený zevně, a processus anterior. Je to delší štíhlý výběžek směřující vpřed. [2]

5.2.2 *Incus (kovadlinka)*

Kovadlinka je střední článek řetězce středoušních kůstek, nachází se mezi kladívkem a třmínkem. Tělo kovadlinky (corpus incudis) je masivnější a vpředu nese lehce sedlovitou kloubní plochu pro spojení s hlavicí kladívka. Směrem dozadu z těla vystupuje kuželovité krátké raménko (crus breve) a mediokaudálně z něj pokračuje dlouhé raménko (crus longum). Crus longum jde paralelně s rukojetí kladívka. Na konci dlouhého raménka je mediálně obrácený chrupavčitý výběžek (processus lenticularis) fungující jako vložka mezi crus longum incudis a hlavicí třmínku, s níž je spojen syndesmosou nebo kloubem. [2]

5.2.3 *Stapes (třmínek)*

Stapes je poslední z komplexu tří sluchových kůstek. Hlavice třmínku (caput stapedis) je spojena s dlouhým raménkem kovadlinky. Svou bází, což je podlouhlá oválná ploténka mezi konci obou ramének, zapadá do oválného okénka (fenestra ovalis). Hlavice s bází je propojena prostřednictvím předního (crus anterior) a zadního (crus posterior) raménka. [2]

5.3 Funkce středoušních kůstek

Jak je výše zmíněno, soubor ossicula auditus je systém nerovnoramenných pák. Což znamená, že kůstky mění kmity o velké amplitudě a o malé intenzitě na kmity o malé amplitudě, avšak s velkou intenzitou. Díky velké intenzitě se rozkmitává perilymfa, která pak přenáší kmitání na endolymfu a následně pak mohou být kmity vnímány sluchovým receptorem v blanitém hlemýždi. [2]

6 HLAVNÍ TYMPANOMETRICKÉ POJMY

6.1 Zvuk

Definice zvuku zní: „Zvuk je jakékoliv mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem.“ „Zvuk, jehož kmitání se pravidelně opakuje, se nazývá tón. Zvuk s nepravidelným kmitáním se nazývá šum. Tón má různou výšku. Výška tónu, kmitočet neboli frekvence, je dána počtem kmitů za sekundu. Hluboké tóny mají nízkou frekvenci, zatímco vysoké frekvenci vysokou. Jednotka frekvence je Hz (Hertz). Počet Hz udává počet kmitů za sekundu. Frekvenční rozsah mladého člověka je 16 – 20 000 kmitů za sekundu.“ [1]

6.2 Zdroj zvuku

Zdroj zvuku vyzařuje zvukovou energii v podobě zvukových vln. Fyzikální veličiny vyjadřující vlastnosti zvukové energie jsou rychlost šíření zvuku a akustický tlak. Akustický tlak je změna atmosférického tlaku způsobená zvukem. Akustickým tlakem je myšlena síla, která působí na jednotku plochy, udávaná v Pa (pascálech). Nejslabší zvuk, který člověk dokáže postřehnout, má zvukový tlak 2×10^{-5} Pa. [1]

6.3 Intenzita zvuku

„Intenzita zvuku je energie vlnění, která prochází za časovou jednotku plochou kolmou na směr jejího šíření. Je udávána ve wattech na m^2 . Rozsah intenzity zvuku je, které vnímáme, je veliký. Proto se k vyjádření intenzity užívá logaritmické stupnice s jednotkou decibel (dB).“ [1]

6.4 Decibel

Decibely udávají intenzitu zvuku vzhledem k prahu sluchu tónu o frekvenci 1000 Hz a činí v jednotkách tlaku 2×10^{-5} Pa jednotkách intenzity 10^{-15} W. Intenzita zvuku v decibelech pak odpovídá desetkrát dekadickému logaritmu poměru intenzity vzhledem k základní intenzitě zvuku $10 \log (1/10)$. [1]

6.5 Akustický tlak

Akustický tlak je kmitavý pohyb zdroje zvuku způsobující, že se částice vzduchu okolo zdroje střídavě zhušťují a zředňují. V důsledku toho se mění hodnota normálního atmosférického tlaku (10^5). Při zhuštění částic vzduchu se zvětší, při zředění zmenší. [6]

6.6 Akustická impedance

Akustická impedance je vlastnost prostředí, která brání přenosu akustické energie. Čím je větší impedance v převodním systému, tím méně zvukové energie se přenesou do středního ucha a tím více energie se odrazí od bubínku. Zvýšení impedance obvykle způsobí změna tuhosti ušního bubínku. Změna tuhosti se projeví nejvíce při přenosu nízkých frekvencí. [1]

6.7 Práh sluchu

„Prah sluchu je minimální intenzita zvuku určité frekvence, kterou je určitá osoba schopna vnímat. Lidský sluch je nejcitlivější ve frekvenční oblasti 1 – 5 kHz.“ [1]

6.8 Konduktance

Konduktance (G) neboli vodivost je fyzikální vlastnost, která popisuje schopnost dobře vést akustickou energii převodním systémem středního ucha. Čím větší vodivost je, tím více akustické energie se přenesou bubínkem a kůstkami středního ucha. Je to reálná složka akustické admitance. [9,10]

6.9 Admitance

Admitance (Y) je převrácená hodnota impedance akustického aparátu, popisuje jeho zdánlivou vodivost a udává míru úměry mezi vynaloženou silou a odpovědí aparátu. [9,10]

6.10 Susceptance

Susceptance (B) je imaginární složkou admitance měřená v mmho. [9,10]

6.11 TPP

Vrchol křivky značí, při jakém tlaku je bubínek nejpoddajnější. Zkratka TPP (Tympanometric Peak Pressure) pak udává hodnotu tlaku vrcholu. V ideálním případě je vrchol v nulovém tlaku. [7]

6.12 TW

TW (Tympanometric Width) je zkratka pro šířku tympanometrické křivky. TW udává míru ostrosti nebo plochosti tympanogramu. TW je šířka v polovině výšky křivky. [7]

6.13 ECV

ECV (Equivalent Ear Canal Volume) zkratka znamená ekvivalentní objem zvukovodu. ECV je měřen jako poddajnost při tlaku +200 daPa. [7]

6.14 SA

Zkratka SA (static admittance) udává, ve které hodnotě milimhos (mmho) se vyskytuje vrchol křivky. Udává míru středního ucha admitance vypočtené jako rozdíl mezi admitancí vrcholu tympanogramu a offsetu vertikální osy. [7]

7 TYMPANOMETRIE

Tympanometrie je druh vyšetření používané k testování funkce středního ucha a mobility bubínku a kůstek středního ucha změnou tlaku v ušním kanálku. Tympanometrie se řadí mezi objektivní vyšetřovací metody funkcí středního ucha. Nelze ji tedy použít jako vyšetření citlivosti zvuku neboli vyšetření sluchu, k tomu slouží audiometrie. Tympanometrie je pouze podsložkou audiometrického vyšetření.

7.1 Princip tympanometrie

Princip tympanometrie je založen na měření množství přijaté akustické energie odražené od bubínku. Samotné měření tympanometrie pak spočívá v tom, že se vzduchotěsně utěsní pacientovi zvukovod zátkou, kterou vedou tři kanálky. První kanálek slouží k vyslání tónu o určité frekvenci (většinou 200 – 300 Hz). Druhým kanálkem je měřeno množství odražené akustické energie, která se odrazí zpět od bubínku při vyslání tónu, a poslední třetí kanálek je určen k možnosti měnit tlak ve zvukovodu. Běžně se tlak ve zvukovodu moc neliší od tlaku vzduchu ve středouší a při tomto stavu je také převodní ústrojí nejpoddajnější (impedance je nejmenší).

Čím je v zevním zvukovodu vyšší tlak, tím je bubínek více tlačен směrem do středouší a impedance se tím více zvyšuje. Je-li naopak v zevním zvukovodu nízký tlak, bubínek je tlačен směrem ven a impedance se tímto opět také zvyšuje. Při měření tympanometrie se mění tlak ve zvukovodu pomocí přívodního kanálku jdoucího skrze zátku a postupuje se podle řady +200, +100, +50, 0, -50, -100, -200, -300, -400 mmH₂O. Tím dosáhneme výsledné tympanometrické křivky. [1,6,9]

7.2 Atributy tympanometrické křivky

7.2.1 Výška křivky

Výška křivky udává poddajnost převodního ústrojí. Čím je křivka vyšší, tím je převodní ústrojí poddajnější a tím je impedance menší. Normou pro tón o frekvenci 220 Hz se považuje interval hodnot 0,3 – 0,8 ml ekvivalentního objemu. Nízká křivka svědčí pro fixaci řetězu kůstek, zatímco vysoká křivka svědčí o přerušeném řetězu kůstek nebo o atrofických jizvách. [6]

7.2.2 Vrchol křivky

Vrchol křivky udává, při které hodnotě tlaku vodního sloupce je převod ústrojí nejpoddajnější. Udává tedy tlak vzduchu ve středouší. Čím více se pohybuje v negativních hodnotách, tím větší podtlak je ve středouší. [6]

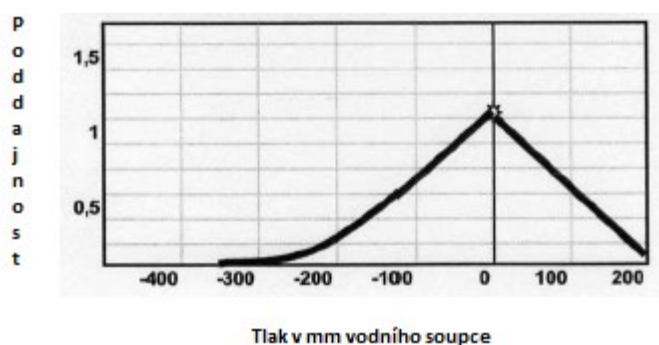
7.2.3 Tvar křivky

Tvar křivky udává ostrost vrcholu (gradient), což je poměr průměrné poddajnosti měřené při tlaku $+50 \text{ mmH}_2\text{O}$ a $-50 \text{ mmH}_2\text{O}$. Čím je gradient vyšší, tím je vrchol křivky ostřejší. Normou je považováno, že pro rozsah hodnot $0,4 - 0,6$ náleží gradient v rozmezí intervalu $40 - 60\%$. [6]

7.3 Typy tympanometrické křivky

7.3.1 Tympanometrické křivky typu A

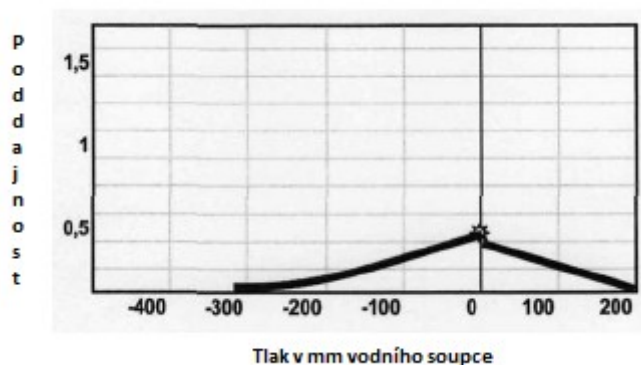
Typ křivky A je považován za standardní. Tlaky před i za bubínkem jsou vyrovnány a vrchol křivky je tedy při nulovém tlaku (viz graf č. 1). [6]



Graf č. 1: Tympanometrická křivka A

7.3.1.1 Typ As

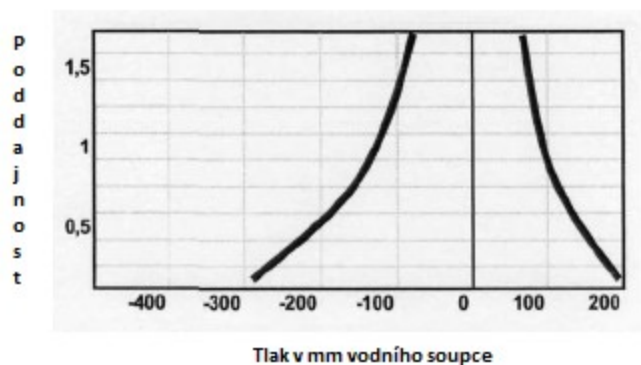
U tohoto typu je sice vrchol v nulovém tlaku, ale vrchol je nízký. Je to příčinou určité ztuhlosti převodního aparátu (viz graf č. 2). [6]



Graf č. 2: Tympanometrická křivka As

7.3.1.2 Typ Ad

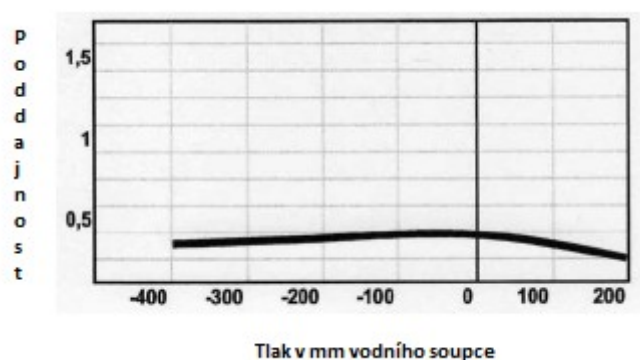
U typu Ad je jako v předešlém případě nulový tlak, ale na rozdíl od As je vrchol vysoký (viz graf č. 3). [6]



Graf č. 3: Tympanometrická křivka Ad

7.3.2 Tympanometrické křivky typu B

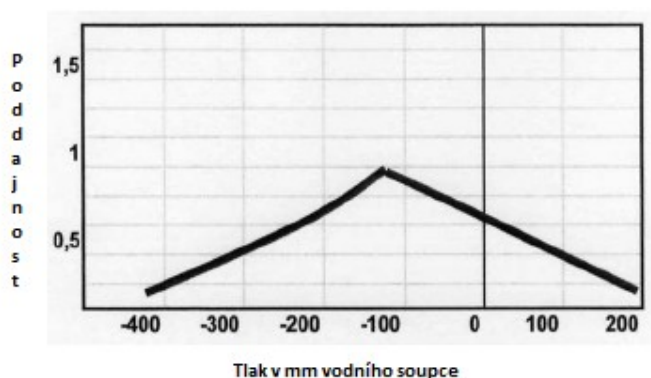
U typu B tympanometrické křivky je gradient malý, nezřetelný. Tlak před bubínkem je nižší než za bubínkem. Graf typu B nemá vrchol (viz graf č. 4). [6]



Graf č. 4: Tympanometrická křivka B

7.3.3 Tympanometrická křivka typu C

Tato křivka naznačuje významný negativní tlak ve středouší, nebo dysfunkci Eustachovy trubice (viz graf č. 5). [6]



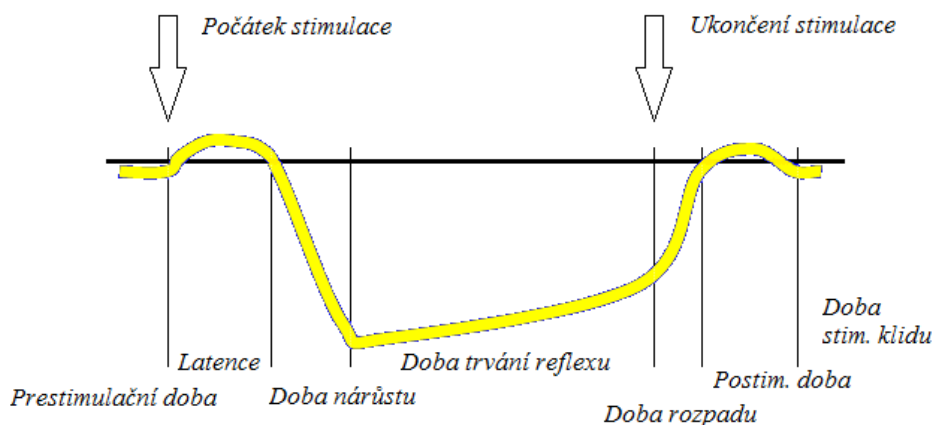
Graf č. 5: Tympanometrická křivka C

7.4 Třmínkový reflex

Součástí tympanometrického vyšetření je také vyšetření tzv. výbavnosti třmínkových reflexů. Jde o měření kontrakcí třmínkového svalu po vyslání tónu o určité frekvenci do zvukovodu. Třmínkový reflex vzniká na základě akustické stimulace stahu třmínkového svalu a tím vzniká změna impedance systému.

„Dostředivá část reflexu se uskutečňuje po sluchové dráze do mozkového kmene. Část odstředivá reflexního oblouku se realizuje od jádra nervus facialis (licního nervu) k třmínkovému svalu ve středouší. Poté v mozkovém kmeni dochází k propojení dostředivé části s odstředivou částí, což znamená spojení senzorické sluchové dráhy s motorickou.“ [6] Po stimulaci třmínkového svalu se reflex objevuje na obou stranách. Vyšetřují se tedy třmínkové reflexy ipsi (na jedné stimulované straně) a kontralaterálně (na opačné straně).

Sval se začíná kontrahovat už při stimulaci po 10 ms, kdy ale po 10 ms dochází ke snížení kontrakce zhruba o 10 – 30 %. K úplné kontrakci dochází po 65 ms a k maximální kontrakci dochází a i k maximální výchylce v grafickém znázornění dochází na hladině 15 – 20 dB nad prahem reflexu. [6]



Obrázek č. 1: Časový rozpis reflexu signálu

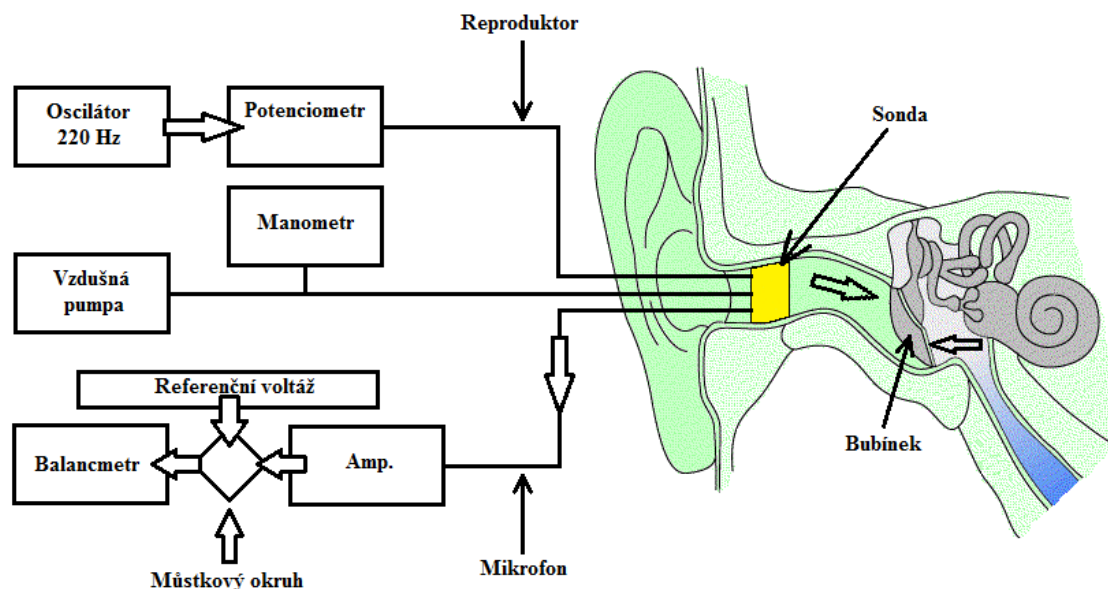
7.4.1 Význam třmínkového reflexu

Třmínkový reflex nám udává poddajnost a správnou funkci a impedanci středoušního převodního systému (středoušní kůstky). Vyvolání třmínkového reflexu akustickým drážděním informuje o dostatečné hlasitosti zvukového podnětu. Dále to také znamená, že řetěz kůstek je pohyblivý a celistvý a také, že reflexní inervační oblouk akusticko-faciální je neporušen.

Z měření třmínkových reflexů se také zjišťuje hladina hlasitosti na stimulovaném uchu, typ nedoslýchavosti, únavnost sluchového orgánu, stav reflexního oblouku stapediálního reflexu a hladina nepříjemného slyšení. [6]

8 TYMPANOMETR

Zjednodušené blokové schéma obecného tympanometru (obrázek č. 2) [6]



Obrázek č. 2: Blokové schéma tympanometru

8.1 Madsen OTOflex 100

Měření je prováděno na přístroji Madsen OTOflex 100. Zmíněný tympanometr je díky napájení ze čtyř AA baterií mobilní a flexibilní, což umožňuje testovat jakékoliv typy pacientů – např. pacienti, kteří jsou imobilní ať už dlouhodobého nebo krátkodobého charakteru – a poradí si i s dětskými pacienty. Přístroj je vybaven bezdrátovým Bluetooth modulem pro synchronizaci s PC přes uživatelské rozhraní OTOSuite. [7]

8.1.1 Technické specifikace:

- Zdroj napájení
 Typ baterií: Nabíjecí (Ni-MH) AA (R6) 1,2V, 4 ks
 Bateriové napájecí napětí: Norm. 5V, max. 6,4V, min 4,0V
- Nabíjecí zařízení
 Síťové napájení: 100 – 240VAC \pm 10%, 50/60 Hz
 Spotřeba energie: < 10 VA
- Rozměry
 OTOflex 100 (VxŠxH): 20 cm x 4,9 cm x 7,8 cm
 Nabíjecí jednotka (VxŠxH): 8 cm x 4,9 cm x 7,8 cm

- Provozní prostředí

Teplota:	+15°C až +35°C
Relativní vlhkost:	30 až 90%, nekondenzující
Doba nabíjení:	< 2 min
Tlak vzduchu:	600 hPa až 1060 hPa

Používání přístroje v teplotách pod -20°C a nad +60°C může způsobit nevratné poškození přístroje.

- Displej

Displej:	Grafický, 128 x 128 bodů
----------	--------------------------

- Systém tlaku vzduchu

Rozsah:	Normální +200 až -400 daPa/s Rozšířený +400 až -600 daPa/s
Tlak rozmítání:	50, 100, 200, 400 daPa/s, A.F.A.P. A.F.A.P. začíná na 500 daPa/s a klesá k 400 daPa při detekování vrcholu
Přesnost tlaku:	± 10% nebo ±10 daPa
Směr tlakové pumpy:	Od pozitivního k negativnímu nebo naopak
Bezpečnost:	Samotná bezpečnost +530 daPa až -730 daPa, ±70daPa Softwarová bezpečnost +450 daPa až -650 daPa, ±70daPa

- Dodržování měřicího systému

Tón sondy:	226 Hz @ 85dBspl ± 1,5dB 1000 Hz @ 75dBspl ± 1,5dB
Frekvenční přesnost:	± 0,5%
Rozsah:	0,1 ml až 8,0 ml ± 5% nebo 0,1 ml

- Akustický reflex

Čistý tón:	500Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz
Hluk:	Dolní propust 400 až 1600 Hz Horní propust 1600 až 4000 Hz
Rozsah v:	500 Hz – 50 až 105 dB ± 3 dB 1000 Hz – 50 až 120 dB ± 3dB 2000 Hz – 50 až 115 dB ± 3dB 3000 Hz – 50 až 105 dB ± 3dB 4000 Hz – 50 až 110 dB ± 3dB

Odporová sonda

Rozsah v:	500 Hz – 50 až 105 dB \pm 3 dB
	1000 Hz – 50 až 120 dB \pm 3dB
	2000 Hz – 50 až 115 dB \pm 3dB
	3000 Hz – 50 až 105 dB \pm 3dB
	4000 Hz – 50 až 110 dB \pm 3dB

[7]

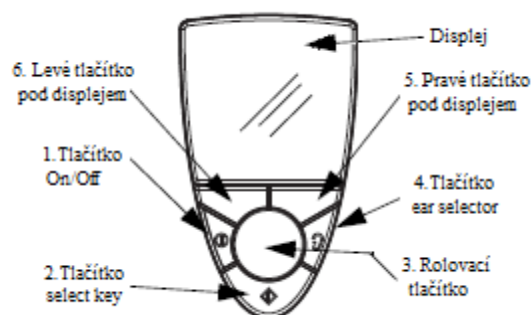
8.1.2 Hlavní ovládací prvky tympanometru Madsen OTOflex 100

Tympanometr Madsen OTOflex 100 má displej pro zobrazování a nastavování jednotlivých funkcí a několik základních ovládacích prvků, které jsou umístěny na přední straně přístroje právě pod displejem (viz obrázek č. 3) kvůli přehlednosti a dobré ovladatelnosti.

Hlavními ovládacími prvky jsou:

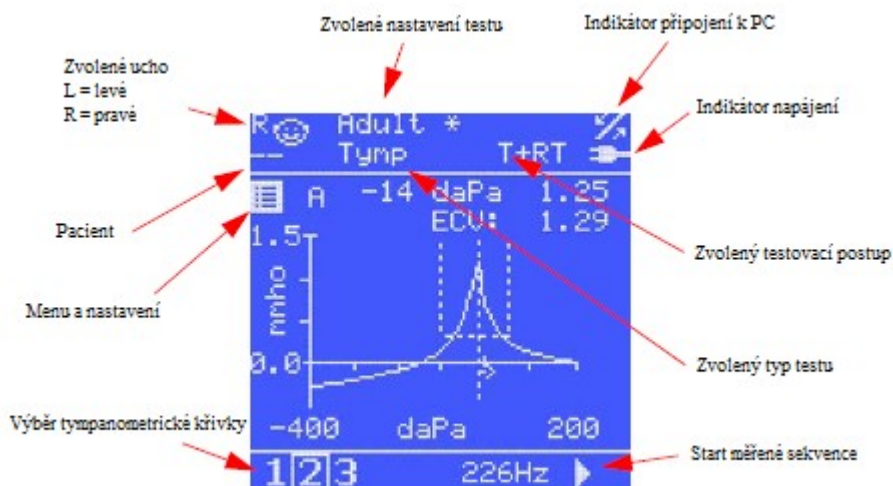
- 1. Tlačítko On/Off – Stlačením a držením 3 – 5 sekund slouží k zapnutí/vypnutí přístroje. Stlačením přepíná mezi testovacími módy.
- 2. Tlačítko Select key – Select key tlačítko slouží potvrzení vybraného módu na displeji, potvrzení zadané hodnoty v nastavení. Stlačením a přidržením aktivuje volbu testu.
- 3. Tlačítko Scroll wheel – Kruhové tlačítko uprostřed mezi ostatními umožňuje otáčivým pohybem výběr námi chtěné ikony na displeji. Tlačítko je obousměrné – pohybem protisměru hodinových ručiček „rolujeme“ směrem nahoru nebo zvyšujeme zvolenou hodnotu, opačným směrem (ve směru hodinových ručiček) „rolujeme“ směrem dolů a snižujeme zvolenou hodnotu.
- 4. Tlačítko Ear selector – Slouží k výběru, na kterém uchu právě provádíme měření, během měření také k okamžitému uvolnění tlaku vzduchu ve zvukovém kanálku a v neposlední řadě slouží k pozastavení nebo k úplnému ukončení testu.
- 5. Pravé tlačítko pod displejem – Pod tímto ovládacím prvkem se skrývá více ovládacích funkcí jako například spuštění měření (ať už automatického nebo manuálně nastaveného) jak tympanometrického, tak měření třmínkového reflexu, dále umožňuje automaticky napouštět a vypouštět vzduch v kanálku. Stlačením a držením se vyvolá start testovací sekvence.
- 6. Levé tlačítko pod displejem – Levé tlačítko pod displejem nabízí výběr tympanometrické křivky. Ukončuje měření třmínkových reflexů. Dále levým tlačítkem označujeme/odznačujeme prahovou hodnotu třmínkových reflexů, vrátíme se o úroveň výš v menu, vyvoláváme menu. Stlačením a přidržením vyvoláváme informace o měřené osobě.

[7]



Obrázek č. 3: Hlavní ovládací prvky tympanometru

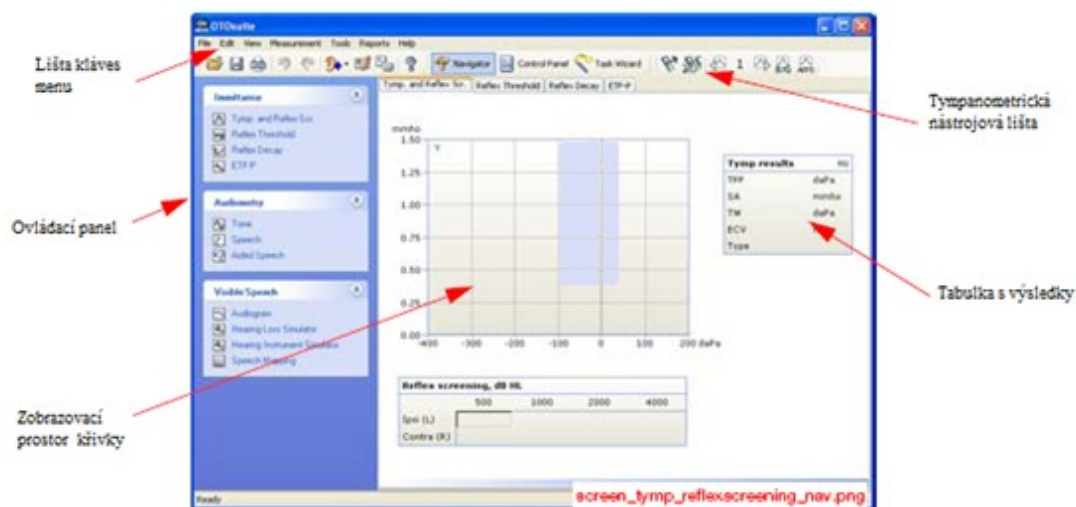
Kromě ovládacích prvků je ke správnému nastavení a proměření tympanometrie velice důležitý displej. Na displeji se zobrazují různé ikony, které jednak indikují, jaké parametry jsme v nastavení zvolili, stav napájení, které ucho je měřeno a také výsledná křivka tympanometrie (viz obrázek č. 4).



Obrázek č. 4: Displej tympanometru

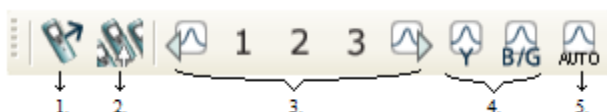
8.2 Software OTOSuite

Pro správnou funkčnost a kompatibilitu přístroje s PC je potřeba mít v počítači nainstalovaný software OTOSuite dodávaný k tympanometru. Stejně tak jako u tympanometru je vhodné popsat základní ovládací prvky a elementy, které můžeme na obrazovce spatřit (viz obrázek č. 5). V horní části se nachází lišta kláves, které umožňují práci se soubory jako například volba otevření souboru s daty daného pacienta pod záložkou Soubor, dále je možné upravovat danou křivku pomocí záložky Upravit atd.



Obrázek č. 5: Uživatelské rozhraní OTOsuite

Dalším důležitým seskupením kláves je nástrojová lišta pro tympanometrické vyšetření. Nachází se zde několik ikon, které slouží k snadné práci a přepínání jednotlivých funkcí (viz obrázek č. 6).



Obrázek č. 6: Nástrojová lišta

- 1. První ikona – Slouží k přenosu naměřených dat z přístroje do počítače.
- 2. Druhá ikona – Ikona druhá v pořadí zleva otevírá dialogové okno pro zvolení měřicího přístroje.
- 3. Skupina ikon – Ikona s šipkou vlevo následovaná čísly a ikonou s šipkou směřující vpravo slouží k přepínání mezi specifickými zakřiveními v křivce tympanogramu.
- 4. Ikony B/G a Y – Ikony obsahující písmena B/G a Y nám slouží k přepínání zobrazování dat mezi susceptancí a konduktancí (B/G) a admitancí (Y).
- 5. Ikona Auto – Ikona Auto (autoscale) vrací zpátky defaultní měřítko v grafu a zobrazuje tak celou křivku.

Další důležitou zobrazovací částí obrazovky je tabulka s výslednými hodnotami TPP, SA, ECV, TW a typ křivky, kde se po dokončení měření vypíše výsledné naměřené hodnoty. Za zmínku také stojí, že v oblasti výsledné tympanometrické křivky je modře vyšrafovaná oblast, která značí oblast normálního výskytu vrcholu křivky.

Při zjišťování a proměřování výbavnosti třmínkového reflexu daného ucha je zde opět prostor pro tympanometrickou křivku po boku s tabulkou s naměřenými hodnotami. Navíc je

zde ale pod grafem tabulka s naměřenými hodnotami. Hodnoty se vypisují do dvou řádků pro levé i pravé ucho, kde se v prvním řádku vypisují hodnoty při Ipsi stimulaci třmínkového svalu a v druhém řádku se vypisují hodnoty při kontra stimulaci třmínkového svalu. Hodnoty jsou zde vypsány v decibelech nad prahem sluchu. [7]

9 TYMPANOMETRICKÉ VYŠETŘENÍ

Tympanometrické vyšetření se provádí před každým audiometrickým vyšetřením. Tympanometrie jako každé jiné vyšetření ve zdravotnictví podléhá přísným kritériím, které se musí dodržovat. Jejich porušením by tak mohlo dojít k závažným až trvalým zdravotním následkům.

9.1 Zajištění správného prostředí

Prostředí, ve kterém se měření provádí, by mělo splňovat podmínky jak z hlediska hygieny (tzn. čistota, sterilizace sond, apod.) tak z hlediska ovlivnitelnosti okolí. Tympanometrie nepožaduje příliš odhlučněné prostředí, tišší místo je ale výhodou. Podmínky splnění správné hygieny jsou splněny výměnou nové ušní sondy vždy před každým měřením. Je-li u měřené osoby infekce v jednom uchu, mění se sonda při přechodu z jednoho ucha do druhého. [7]

9.2 Příprava přístroje

Před zahájením měření se musí zkontrolovat technický stav přístroje, zapojení a konektivita s PC a správné nastavení vstupních parametrů pro dané měření.

9.2.1 Zapojení přístroje

Tympanometr Madsen OTOflex 100 komunikuje se stolním počítačem pouze prostřednictvím bezdrátového Bluetooth modulu. Možnost kabelového propojení s PC tak zde není. Uživatel by se měl před měřením přesvědčit, zda přístroj komunikuje s PC a softwarem OTOSuite správně a korektně vyhodnocuje vstupní parametry. Jestliže jsou zjištěny nepřesnosti v komunikaci mezi přístrojem a počítačem je třeba tyto nedostatky odstranit a komunikaci správně nastavit v nabídce Ovládacího panelu. Tympanometr umožňuje měření pomocí napájení ze sítě nebo z tužkových AA baterií. V případě používání přístroje pouze na baterie, se musí průběžně kontrolovat jejich stav, aby nedošlo ke ztrátě naměřených dat během samotného vyšetření díky vybití přístroje. [7]

9.2.2 Ušní sonda

K tympanometru je dodávána sonda buď s krátkým kabelem, nebo sonda s kabelem delším. Sonda s krátkým kabelem se používá v případě, je-li pevně dáno, kde v ordinaci se bude tympanometrie měřit. Tudíž je možno pevně připevnit tympanometr ke zdi a daný kratší kabel bez problému k pacientovi dosáhne. Nevyhovuje-li ale tato možnost, je k dispozici sonda s kabelem delším a přístroj může být položen volně na pracovním stole v blízkosti pacienta.

Každý jedinec je svým způsobem individuální a to se také projevuje u tohoto vyšetření. Konkrétně se u každého člověka liší objem zvukovodu, což se projevuje na jeho kolmém průřezu. Je velice důležité, aby byl zvukovod během měření stále vzduchotěsně utěsněn. K tomu

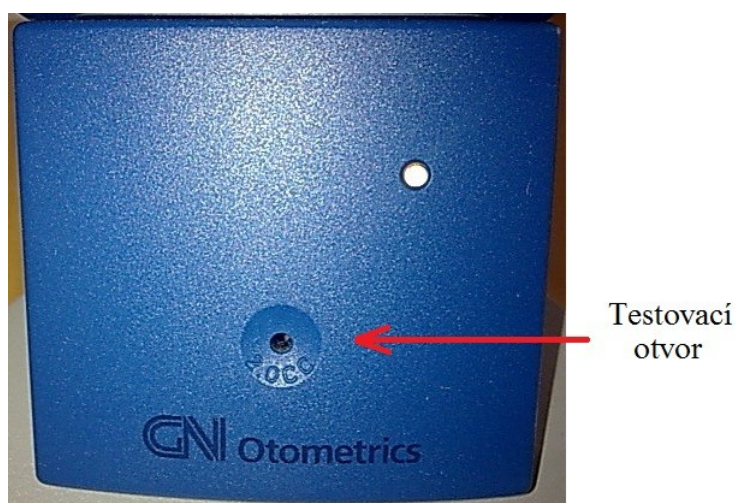
slouží rozdílné průměry špuntů ušních sond, které je dobré před měřením vhodně zvolit. Špatné utěsnění zvukovodu je indikováno ikonou na obrazovce.

Je doporučováno překontrolovat na začátku každého dne, nebo při změnách v nastavení tlaku, sondu pro ujištění, že sonda funguje správně. Uživatel by se měl ujistit, že špička sondy a filtr neovlivňuje průběh vyšetření, a že testovací dutina není znečištěná. Kontrola sondy se provádí následovně:

1. Uživatel se ujistí o čistotě sondy před zavedením do testovací dutiny
2. V nabídce Menu se vybere možnost Probe check (viz obrázek č.7)
3. Zavede se špička sondy (bez špuntů) do testovacího otvoru v přístroji (viz obrázek č.8). Kontrola se spustí sama.
4. Sonda je prověřena proti unikání vzduchu. Je-li sonda v pořádku, sonda je automaticky kalibrována na 2cm^3 .



Obrázek 7: Test sondy



Obrázek 8: Testovací otvor sondy v přístroji

Není-li sonda v pořádku, prověřují se následující kroky:

- Ujistění, zda je těsnicí kroužek špičky sondy na místě a upevněn.
- Ujistění, že jsou zvukové kanály v sondě průchozí a sonda je připojena.
- Kontrola, zda nastavení tlaku a nadmořské výšky (Menu > Advanced > Device settings > Altitude ab. sea – viz obrázek č.9) odpovídá geografické oblasti (barometrický tlak může ovlivňovat naměřené hodnoty).



Obrázek 9: Volba nadmořské výšky

[7]

9.2.3 Nastavení přístroje

Jelikož se u dětí a dospělých pacientů nepoužívá stejná frekvence vyslaného tónu pro měření tympanometrie (u dětí tón o frekvenci 1000 Hz, u dospělých o frekvenci 226 Hz; viz obrázek č.10), musí se tento parametr před vyšetřením nastavit následujícími kroky: Menu > Select > Probe tone.

Tympanometr Madsen OTOflex 100 obsahuje více druhů vyšetření tympanometrie (klasická tympanometrie, třmínkový reflex a tympanometrie s výbavností třmínkového reflexu), které se musí individuálně nastavit.

Bez ohledu na to jaké se bude provádět měření, se před začátkem musí zvolit, které ucho bude měřeno. Jsou dvě možnosti jak tento parametr nastavit:

- Přes nabídku Menu, kde se vybere příslušné ucho – Menu > Procedure options > First ear to test (viz obrázek č.11). Tlačítkem Select se provede potvrzení.

nebo

- Přepínáním tlačítka Ear select dokud se na displeji neobjeví ikona  .



Obrázek 10: Nastavení frekvence tónu



Obrázek 11: Výběr měřeného ucha

[7]

9.2.3.1 Přidání nového pacienta:

1. Složka nového pacienta se automaticky vytvoří se zapnutím přístroje.
2. Objeví se obrazovka Patient & User, kde se zadají vstupní data odpovídající měřené osobě.
3. Nastavení přístroje pro usnadnění celého procesu testování, manipulace s informacemi o pacientovi a pokračování s novým pacientem:
 - Výběr nabídky Menu > Procedure Options > (viz tabulka č.1)

„Done?“ výzva nastavena na On	Je-li nastaveno na volbu On, výzva „Done?“ se objeví, když je skončeno měření pacienta.
Print when done? nastaveno na On	Je-li výzva „Done?“ nastavena na On a je potvrzena (Yes), naměřená data se vytisknou. Jakmile se data

	vytisknou, objeví se výzva „Done?“. Zdařil-li se tisk, pokračuje se dále potvrzením (Yes). Madsen OTOflex 100 vytvoří novou složku pacienta.
Výzva „Patient“ nastavena na On	Je-li výzva nastavena na On, objeví se obrazovka Patient & User pro vkládání dat nového pacienta po vytvoření nové složky o pacientovi.
Výzva „Setting“ nastavena na On	Jakmile jsou vložena data o pacientovi, objeví se obrazovka Load Settings, je-li k dispozici speciální nastavení. Vybere se požadované nastavení a pokračuje se ve vyšetření.

Tabulka č. 1: Možnosti vyšetření

4. Je-li požadováno, zvolí se příslušný typ měření opakovaným stlačením tlačítka On/Off.
 5. Vykoná se zvolené měření.
 6. Naměřená data jsou uložena jako data příslušná danému pacientovi.
- [7]

9.3 Příprava pacienta

Ke správnému a korektnímu naměření výsledné křivky a třmínkového reflexu je jednak důležitá příprava a nastavení přístroje, ale také příprava pacienta na dané měření. Pacient by na vyšetření tympanometrie měl přijít v dobrém zdravotním stavu. Špatný zdravotní stav správné výsledky může negativně ovlivnit. Stačí pouhá rýma, kdy se velmi často projevuje zalehlost uší, a výsledná křivka nebude relevantní pro jeho dlouhodobý stav, ale pouze pro tento aktuální s rýmou.

9.3.1 Výběr vhodného ušního špuntů sondy

V příslušenství tympanometru Madsen OTOflex 100 je možné vybrat z více druhů špuntů (viz obrázek č.12) v závislosti na daném druhu měření:

- špunt pro dospělé (střední a velká velikost)
- dětský špunt

Pro správnost vyšetření je nutné:

1. Zkontrolovat zvukový kanálek sondy po každém použití sondy. I jen malé množství ušního mazu nebo hnisu může zablokovat zvukový kanálek.
2. Vybrat ušní špunt, který odpovídá zvukovodu měřené osoby. Je třeba vyzkoušet více velikostí, aby vybraná sonda vhodně utěsnila zvukovod.



dětská
velikost střední
dospělá
velikost velká
dospělá
velikost

Obrázek 12: Typy špuntů a těsnění druhého ucha

[7]

9.3.2 Zavedení sondy

Prohlídka průchodnosti ušního kanálku:

1. Polohovat měřenou osobu tak, aby byl lehký přístup k testovanému uchu.
2. Uchopit boltec a jemně za něj zatáhnout nazpátek a směrem od hlavy testované osoby.
3. Výrazně se doporučuje provést otoskopii k posouzení stavu vnějšího ucha před vložením sondy.

Je-li při otoskopii ve zvukovodu viditelné zúžení, je možné, že je zvukovod blokován hnisem, ušním mazem nebo pozůstatkem po něm nebo je nějak zakřiven. V případě, že je zvukovod zakřiven, je nutné počkat, než se kanálek vrátí do původního tvaru a opakovat akci znovu. Jemné masírování pomáhá otevření kanálku.

4. Jestliže je kanálek blokován nebo znečištěn, je nutné zvukovod vyčistit. Nečistota ovlivňuje naměřené výsledky.









[7]

Zavedení vhodné sondy do ucha pacienta:

Před zavedením sondy je nutné myslet na to, že se sonda nesmí dostat ve zvukovodu moc daleko u dětí a novorozenečat.

1. Při zavádění špuntů sondy do zvukovodu měřené osoby je nutné uchopit boltec, jemně jím zatáhnout zpět a mírně směrem od hlavy osoby. Poté vložit sondu do zvukovodu lehkým točením dokud se dostatečně nevloží.
2. Je nutné se ujistit, že sonda dobře těsní zvukovod. Jakákoliv netěsnost přeruší měření. V průběhu tympanometrického měření je utěsnění zvukovodu indikováno

ikonou jak na obrazovce počítače tak na přístroji Madsen OTOflex 100 (viz Tabulka č.2).

Obrázovka PC		OTOflex 100
	Sonda těsní	
	Sonda je blokována	
	Sonda netěsní	
	Sonda není zavedena	

Tabulka č. 2: Indikace utěsnění sondy

Kompensace spontánních pohybů hlavy měřené osoby:

- Umístit kabely sondy za krkem osoby
 - Pro udržení kabelu na místě a tím sondu ve zvukovodu je na kabelu popruh umístěný na rameno naproti měřeného ucha
 - Kabel sondy by neměl být propnutý, sonda by vypadávala a netěsnila
- [7]

9.3.3 Zavedení Ipsi sondy do zvukovodu

Před zavedením je nutné myslet na to, že se sonda nesmí dostat ve zvukovodu moc daleko u dětí a novorozěnat.

1. Polohovat měřenou osobu tak, že přístup k testovanému uchu bude jednoduchý.
2. Provéřit zvukovod – Uchopit boltec, jemně a lehce nahoru a směrem od hlavy měřené osoby. Je-li měřená osoba novorozenec, boltec se táhne jemně dolů a směrem od hlavy. U starších dětí boltec nahoru a od hlavy.
3. Prohlídka ušního kanálku.
Je-li znát viditelné zúžení zvukovodu, může být zanesen ušním mazem, hnisem, pozůstatkem po něm je přímý. Zvukovod novorozenat je velmi měkký, proto se lehce zakříví. V tomto případě se musí počkat, než se nedostane do původního tvaru a akci opakovat.
4. Jestliže je kanálek blokován nebo znečištěn, je nutné zvukovod vyčistit. Nečistota ovlivňuje naměřené výsledky.
5. Zaveďte sondu se špuntem do zvukovodu měřeného ucha osoby.

[7]

9.3.4 Unikání vzduchu

Naměřené výsledky mohou být ovlivněny mnoha faktory, které vedou k úniku vzduchu nebo problémem se sondou. Nejčastěji je to způsobeno:

- nevhodnou velikostí špuntu sondy
- sonda není dostatečně zasunutá ve zvukovodu
- zbytky ušního mazu blokuji úplnému utěsnění zvukovodu sondou
- starý, zteřelý špunt sondy
- konektor sondy není dostatečně zastrčen v příslušném portu v přístroji Madsen OTOflex 100

Unikání vzduchu je indikováno před začátkem i v průběhu měření ikonou na obrazovce (viz Tabulka č.2).

[7]

9.4 Průběh vyšetření

S tympanometrem Madsen OTOflex 100 jde provést více typů vyšetření. A to tympanometrické vyšetření – tympanometrie + prahový reflex, tympanometrie + prahový reflex + rozpad třmínkového reflexu.

První krokem je výběr požadovaného druhu měření, který se provádí následujícím postupem:

- v přístroji OTOflex 100: Menu > Procedure Options... > Sequence
- v počítači: ikona Sequence > rozbalí se list s možnostmi
 - T + RT (Tympanometrie + výbavnost třmínkového reflexu; viz obrázek č.13)
 - T + RT + RD (Tympanometrie + výbavnost třmínkového reflexu + rozpad třmínkového reflexu; viz obrázek č.14)



Obrázek 13: Výběr měření T+RT



Obrázek 14: Výběr měření T+RT+RD

[7]

9.4.1 Tympanometrie

9.4.1.1 Měření pouze na přístroji

V přístroji je nastaveno defaultní nastavení. Pro vykonání tympanometrického měření se postupuje podle následujících kroků:

1. Správně se zavede sonda do ucha pacienta.
2. Stiskem tlačítka Start se spustí tympanometrické měření.
3. Test postupuje podle následujícího:
 - Pumpa zvýší tlak na maximální hodnotu definovanou v Menu > More Settings...> Pressure range a závisí na Menu > More Settings ...> Sweep direction
 - Jakmile pumpa dosáhne předdefinovanou hodnotu tlaku, spustí se tzv. Sweep. Jak postupuje Sweep, admittance pro každou hodnotu tlaku je zakreslována na obrazovku a vytváří tak tympanometrickou křivku. Během měření jsou zde dva markery:
 - admitanční marker – indikuje aktuální hodnotu admittance
 - tlakový marker – ukazuje aktuální hodnotu tlaku
4. Dalším Sweep měření se provede opětovným zmáčknutím tlačítka Start. U daného testu je možné uložit až tři různé měření na každém uchu.
5. Když je ukončeno měření, sonda se z měřeného ucha vyjme a vloží do druhého. Je-li potřeba, nastaví se v přístroji měřené ucho tlačítkem Ear selector.
6. Pokračování měření se provede stiskem tlačítka Start a vyčká se, než přístroj dokončí měření.

9.4.1.2 Měření za podpory PC se softwarem OTOSuite

1. Zkontroluje se a zvolí potřebné nastavení.
2. Správně se zavede sonda do ucha měřené osoby.

3. Zmáčkne se tlačítko Start v Ovládacím panelu ke spuštění tympanometrického měření.
4. Jestliže je zjištěno unikání vzduchu, je indikováno na obrazovce.
5. Měření pokračuje podle následujícího:
 - pumpa zvyšuje hodnoty tlaku na maximální, které jsou nastaveny v Tools > Options > Tymp. and Reflex Scr. > Pressure axis – Range a závisí na Control Panel > Sweep direction.
 - Jakmile je dosažena předem definovaná hodnota tlaku, začíná Sweep měření.
 - Jak postupuje Sweep měření, je zakreslována admitance na obrazovce pro každou hodnotu tlaku a vytváří tak tympanometrickou křivku. Během měření jsou zobrazeny dva markery:
 - admitanční marker – indikuje aktuální hodnotu admitance
 - tlakový marker – ukazuje aktuální hodnotu tlaku
6. Další Sweep měření se provede tlačítkem Start v Ovládacím panelu.
(Pro dané měření je možné uložit až tři různé měření pro každé ucho.)
7. Vyčká se, než přístroj dokončí měření.
[7]

9.4.2 Výbavnost třmínkového reflexu

Před započítím měření:

1. Upozornit měřenou osobu o vysokých úrovních tónů stimulace měření.
2. Požádat subjekt, aby seděl klidně a tiše během měření bez pohybu hlavy nebo čelistmi.

9.4.2.1 Měření na přístroji

1. Krátkým stiskem tlačítka On/Off se potvrdí obrazovka měření výbavnosti třmínkového reflexu.
Čerchovaná vodorovná čára v každém grafu značí přednastavené kritérium reflexu. Je to vyznačený offset oproti značce na vertikální ose. Stupeň offsetu je možné nastavit – Menu > More Settings > Reflex criterion.
2. Je-li to potřeba, stiskem tlačítka Ear selector se přepne ucho, kterým se začne měření.
3. Jakmile je osoba usazena a upozorněna, že má sedět v klidu a nehybně (hlavou a čelistmi), zkontroluje se, zda je správně zavedena Ipsi a Kontralaterální sonda.
4. Začátek měření volbou:



Poloautomatické měření – volí se hladina frekvence stimulujícího tónu pomocí rolovacího tlačítka a spustí se potvrzením levého tlačítka pod displejem pro zadanou stimulovanou hladinu



Automatické měření – spustí se potvrzením pravého tlačítka pod displejem pro všechny přednastavené stimulační hladiny (viz obrázek č.15)

5. Pozastavení měření se provede tlačítkem Pause, zpětným stiskem se v měření opět pokračuje.
6. Vyčká se, než přístroj dokončí měření.



Obrázek 15: Obrazovka měření třmínkových reflexů

9.4.2.2 Měření za podpory PC se softwarem OTOSuite

1. Stiskem klávesy PageDown se zobrazí nabídka vybavnosti třmínkového reflexu, nebo přes záložku View -> Immitance.

Započetí měření:



Automatické měření – Kliknutím na tlačítko v nastavení automatického měření ovládacího panelu se spustí plně automatický test měření vybavnosti třmínkového reflexu pro všechny defaultně nastavené stimulující hladiny.



Poloautomatické měření – Kliknutím na tlačítko v prostředí manuálního nastavení ovládacího panelu se spustí hledání vybavnosti třmínkového reflexu pro hladinu stimulovaného tónu nastavenou v ovládacím panelu. Nastavením Tools > Options > Reflex Threshold > Stimulus Types se zvolí požadovaná hladina hledaného reflexu.

2. Je-li Tools > Options > General > Auto resume on seal zapnuto, měření pokračuje, jestliže je sonda správně utěsněna.
 - Není-li třmínkový reflex nacházen:

Intenzita stimulujícího tónu se zvyšuje, dokud není zaregistrován třmínkový reflex nebo dokud měření nedosáhne maximální hodnoty intenzity tónu.

- Je-li třmínkový reflex nalezen ihned:
Měření automaticky začne snižovat hladinu intenzity stimulujícího tónu dokud se třmínkový reflex úplně nevytratí.
3. V závislosti na nastavení Tools > Options > Reflex Threshold > Verification (ověření správnosti) se může nastavit typ ověření výsledků, které se bude používat jako kritérium výchyly naměřených dat při automatickém vyhledávání reflexu.
Tam, kde byla naměřena nejnížší intenzita stimulujícího tónu, se provede znovu změření kvůli přesnější reprodukovatelnosti výsledků.
 4. Vyčká se, než přístroj dokončí měření.
[7]

9.4.3 Rozpad třmínkového reflexu

9.4.3.1 Měření na přístroji

1. Krátkým stiskem tlačítka On/Off se otevře obrazovka měření rozpadu třmínkového reflexu. Zobrazí se v automatickém módu.
2. Stiskem tlačítka Ear selector se zvolí příslušné ucho, kterým se měření začne, měřeného subjektu.
3. Jakmile je osoba usazena a upozorněna, že má sedět v klidu a nehybně (hlavou a čelistmi), zkontroluje se, zda je správně zavedena Ipsi a Kontralaterální sonda.
4. Stiskem tlačítka Start stimulu se započne měření.
Limitní prahy třmínkového reflexu jsou určeny pro všechny přednastavené stimulující tóny.
5. Vyčká se, než přístroj dokončí měření.

9.4.3.2 Měření za podpory PC se softwarem OTOsuite

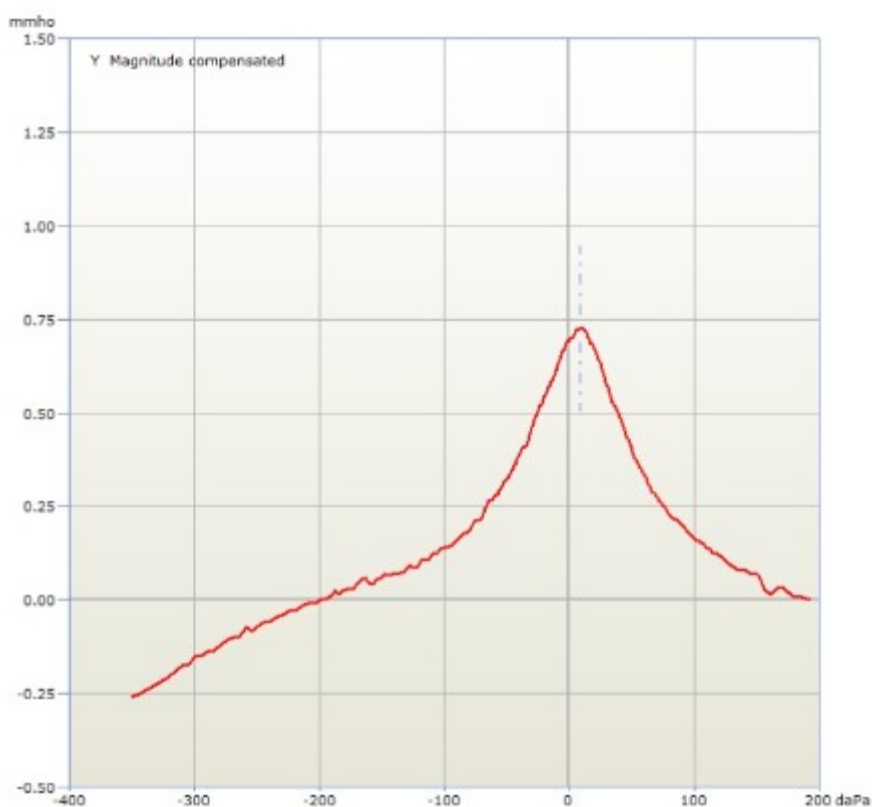
1. Stiskem klávesy PageDown a nebo výběrem záložky View > Immittance myší se vyvolá nabídka rozpadu třmínkového reflexu.
2. Stiskem klávesy Start v sekci Auto ovládacího panelu se spustí plně automatické měření rozpadu třmínkového reflexu.
Je-li potřeba přerušit měření z důvodu nepříjemného pocitu měřené osoby, stiskne se tlačítko Pause na ovládacím panelu.
Následně se pokračuje opětovným stiskem tlačítka Pause. Měření pokračuje tam, kde skončilo.
3. Je-li v Tools > Options > General > Auto resume on seal zapnuto, test pokračuje, jakmile je sonda opět správně utěsněna, do doby než přístroj test automaticky ukončí.
[7]

10 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

10.1 Tympanometrie

Obrazovka měření tympanometrie poskytuje informace o tympanometrické křivce, oblasti vyskytování normálních hodnot vrcholu tympanometrické křivky, výsledný typ tympanometrické křivky, hodnotu TPP a ECV. Všechny další výsledné hodnoty jsou zobrazeny v nabídce Timp Data.

- Výsledná křivka č.1:



Obrázek č. 16: Výsledná křivka – typ A

Timp results		226 Hz
TPP	9 daPa	
SA	0,72 mmho	
TW	98 daPa	
ECV	1,46 ml	
Type	A	

Obrázek č. 17: Naměřená data křivky typu A

O naměřené křivce a se dá říci, že vrchol grafu (TPP) je v normálových hodnotách compliance bubínku (SA) v jednotkách mmho. TPP se vyskytuje téměř v nulových hodnotách (9 daPa) tlaku vzduchu ve středouši, což odpovídá také normálním hodnotám, kdy se tlak ve středouši přibližně rovná tlaku před bubínkem. Šířka naměřené křivky TW je 98 daPa a objem zvukovodu je 1,46 ml, v obou případech se opět jedná o výsledky, které je možné naměřit u zdravého jedince. Jde tedy říci, že bubínek reaguje na okolní podněty v pořádku.

- Výsledná křivka č.2:



Obrázek č. 18: Výsledná křivka – typ As

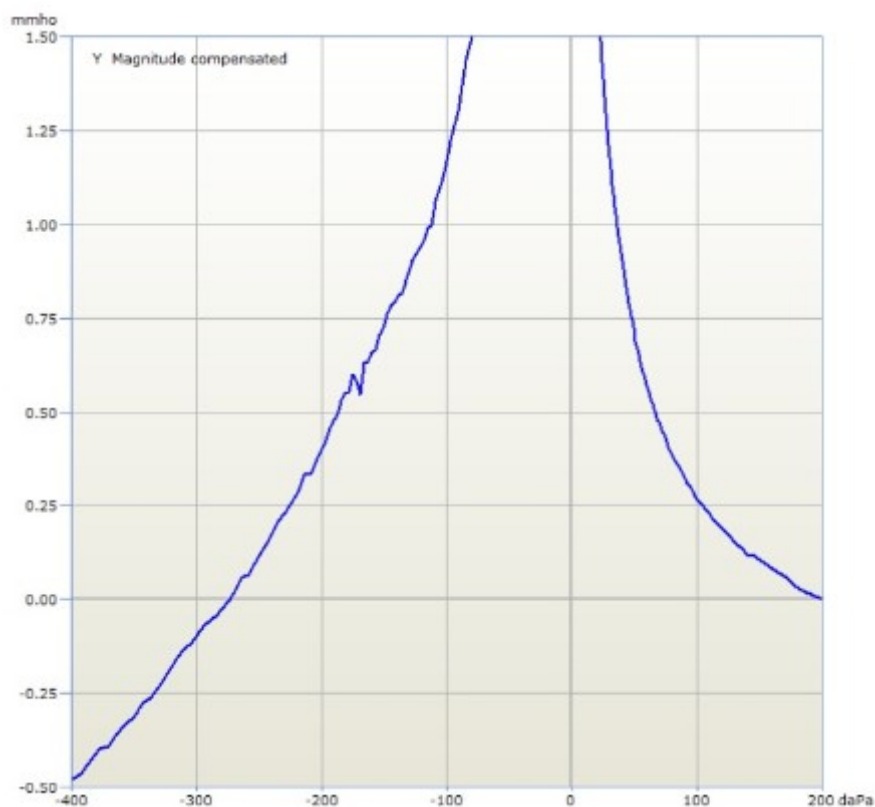
Tympanic results		226 Hz
TPP	-17	daPa
SA	0,28	mmho
TW	140	daPa
ECV	1,77	ml
Type	AS	

Obrázek č. 19: Naměřená data křivky typu As

Z druhé výsledné křivky jde poznat, že se liší od ideálních výsledků tím, že její vrchol TPP se pohybuje v nižším intervalu hodnot SA v mmho, než u předchozího případu. Opět se

zde ale TPP vyskytuje v nulových hodnotách (-17 daPa) tlaku vzduchu, což opět vypovídá o normálových hodnotách, kdy se tlak ve středouší má rovnat tlaku před bubínkem. Jelikož je křivka „placatější“, logicky bude její gradient nižší a její šířka (TW) bude větší a to 140 daPa. Objem zvukovodu byl změřen na 1,77 ml. I v tomto případě můžeme konstatovat správnou komplianci bubínku, což že bubínek reaguje správně na okolní podněty.

- Výsledná křivka č.3:



Obrázek č. 20: Výsledná křivka – typ Ad

Tymp results		226 Hz
TPP	-4 daPa	
SA	7,15 mmho	
TW	31 daPa	
ECV	3,09 ml	
Type	Ad	

Obrázek č. 21: Naměřená data – typ Ad

Z výsledné naměřené křivky jde jasně vidět, že kompliance bubínku je vysoká, proto se vrchol vyskytuje ve velmi vysokých hodnotách SA (7,15 mmho). I když výška vrcholu příliš ideálu neodpovídá, oblast výskytu vrcholu v hodnotách tlaku je opět téměř ideální -4 daPa, což

opět vypovídá o rovnosti tlaků ve středouší a před bubínkem. Šířka křivky TW je 31 daPa, což je logické. Gradient křivky je vysoký, křivka je strmá, šířka tedy musí být menší, než v předešlých případech. Objem zvukovodu je 3,09 ml.

- Výsledná křivka č.4:



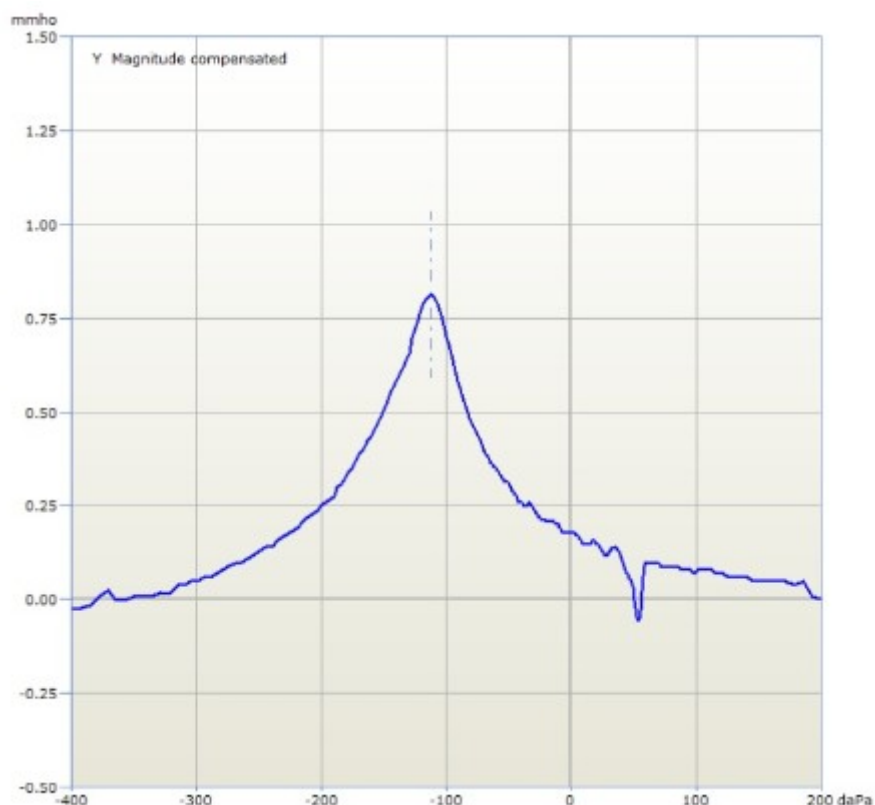
Obrázek č. 22: Výsledná křivka – typ B

Tympanometry results		226 Hz
TPP	-	daPa
SA	-	mmho
TW	-	daPa
ECV	0,88	ml
Type	B	

Obrázek č. 23: Naměřená data – typ B

Křivka naměřená v tomto případě odpovídá typu B, kdy se ve zvukovodu vyskytuje větší tlak než ve středouší. Gradient je v tomto případě malý až nezřetelný. Tato křivka vypovídá o tom, že se od bubínku při různých tlacích v zevním zvukovodu odráží stále stejné množství zvuku. Příčinou je zvýšená tuhost systému bubínek – středouší, což může být způsobeno přítomností sekretu ve středoušní dutině za celistvým bubínkem.

- Výsledná křivka č.5:



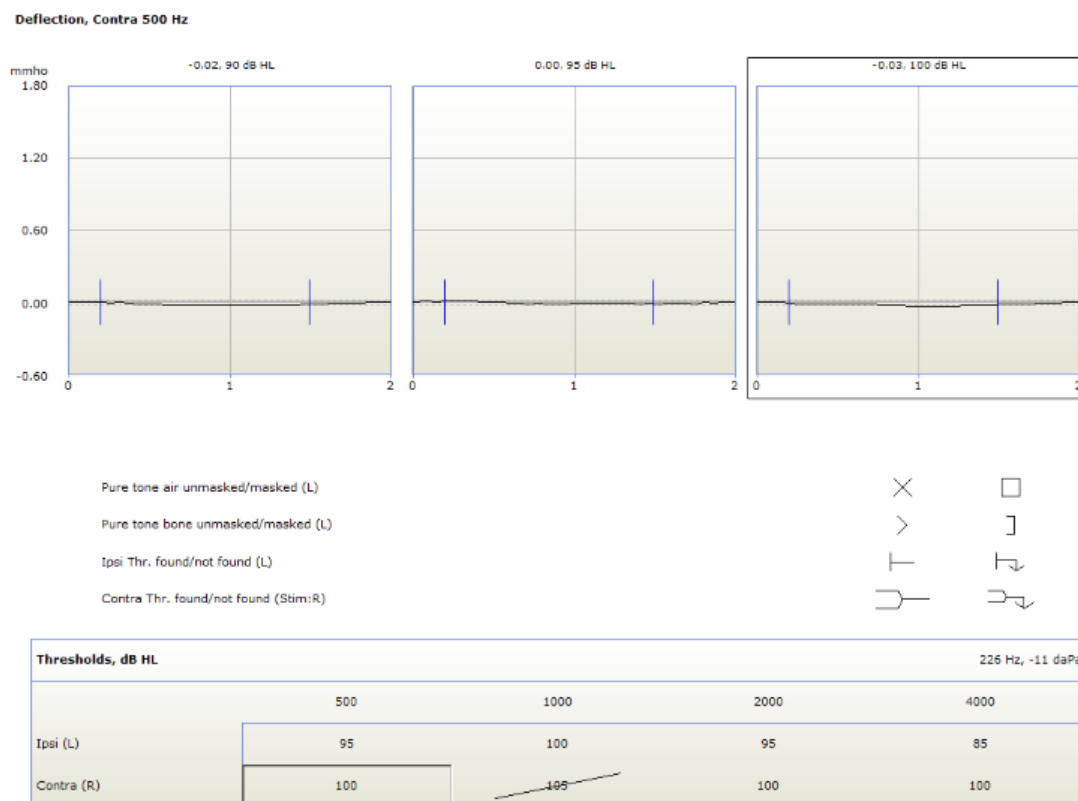
Obrázek č. 24: Výsledná křivka – typ C

Tympanometry results		226 Hz
TPP	-112 daPa	
SA	0,81 mmho	
TW	94 daPa	
ECV	0,95 ml	
Type	C	

Obrázek č. 25: Naměřená data – typ C

Na této křivce jdou vidět rysy připomínající normální stav převodní soustavy, avšak liší se umístěním vrcholu dané křivky na ose tlaků vzduchu. Vrchol křivky v hodnotách SA se pohybuje v normálním rozmezí (0,81 mmho), zatímco hodnota tlaku vrcholu křivky se pohybuje v příliš negativních hodnotách (-112 daPa), což značí, že je ve středouší menší tlak než ve zvukovodu. Bubínek je vtáhnut do středouší vlivem dysfunkce Eustachovy trubice a nevykonává tak stoprocentně svou funkci. Šířka křivky je v tomto případě 94 daPa a objem zvukovodu 0,95 ml.

10.2 Výbavnost třmínkového reflexu



Obrázek č. 26: Naměřená data – výbavnost třmínkového reflexu levého ucha

Výsledná data po změření výbavnosti třmínkového reflexu se zobrazí ve čtyřech tabulkách. V prvních třech (v horní části obrázku) jde vidět průběh stimulovaného tónu o různých intenzitách (90 dB, 95 dB, 100dB) prahu sluchu dané měřené osoby. Ve spodní tabulce zobrazených výsledných dat jsou vypsány, při jaké intenzitě tónu o určité frekvenci se vybaví třmínkový reflex. V tomto případě se vybaví reflex pro tón o frekvenci 500 Hz při Ipsi snímání daného ucha při intenzitě 95 dB nad prahem sluchu dané osoby, při kontralaterálním snímání s tónem o stejné frekvenci při intenzitě 100 dB nad prahem sluchu. Z druhého sloupce je vidět, že se při Ipsi snímání reflex vybaví u tónu s frekvencí 1 kHz při intenzitě 100 dB nad prahem sluchu a u kontralaterálního snímání 105 dB nad prahem sluchu. Dále u tónu o frekvenci 2 kHz se při Ipsi snímání vybaví reflex při 95 dB nad prahem sluchu a u kontralaterálního snímání se vybaví na hladině 100 dB nad prahem sluchu. V posledním měřeném tónu o frekvenci 4 kHz se třmínkový reflex vybaví při hladině 85 dB nad prahem sluchu u Ipsi snímání a 100 dB nad prahem sluchu při kontralaterálním snímání. Ve všech vyslaných tónech se třmínkový reflex vybavil, což znamená, že hlasitosti zvukových podnětů byly dostatečné, řetěz kůstek byl pohyblivý a celistvý a reflexní inervační oblouk akusticko-faciální byl neporušen.

11 ZÁVĚR

Hlavním záměrem této bakalářské práce bylo poskytnout přehled o způsobu vyšetření funkčnosti středoušního převodního systému, který funguje jako zesilovač přijímaných zvukových signálů z okolí, na přístroji Madsen OTOflex 100 a následně sestavit laboratorní úlohu, jež bude v dalších letech sloužit jako výukový materiál studentům na Vysoké škole Báňské – Technické Univerzitě Ostrava v oboru Biomedicínský technik.

První kapitoly bakalářské práce jsou zaměřeny na sluchový aparát se všemi součástmi. Je podrobně popsán jak z anatomického tak fyziologického hlediska. V následujících kapitolách je pak pozornost soustředěna na teoretickou a praktickou stránku tympanometrie a podrobný popis tympanometru Madsen OTOflex 100.

Vyšetření funkčnosti středoušního převodního systému se nazývá tympanometrie a je důležitou součástí každého vyšetření sluchu, jenž se o tympanometrii opírá. Tympanometrie je řazena mezi základní objektivní vyšetřovací metody středního ucha.

V této bakalářské práci jsem se zaměřil na tympanometrické měření s výbavností třmínkového reflexu. Sestavil jsem jednotlivé pracovní postupy, vypsál jsem parametry přístroje, uvedl jsem všechny možné varianty výsledků vyšetření, které jsem naměřil, a výsledná data jsem zpracoval a vyhodnotil. Podle předpokladů se má výsledná data shodovat s daty uvedenými v anamnéze a v literatuře pro daný typ zkoumaného subjektu. Čímž jsem si ověřil, že měření proběhlo správně a bezchybně.

Posledním krokem pak bylo navrhnutí laboratorní úlohy. V první části úlohy bylo úkolem sestavit měřicí řetězec a zkalibrovat sondu. Ke kalibraci byla využita funkce přístroje Probe check. Sonda se tak automaticky kalibrovala na defaultní objem zvukovodu 2 cm^3 . Následujícím krokem byla nutnost nastavení frekvence generovaného tónu napříč zvukovodem, která je stanovena na 226 Hz u dospělých osob. Poté již bylo možno přistoupit k samotnému měření. Studenti se díky této laboratorní úloze seznámí s tympanometrií, naučí se pracovat s přístrojem Madsen OTOflex 100 a interpretovat výsledný tympanogram.

Seznam použité literatury

- [1] HAHN, Aleš. a kolektiv. *Otorinolaryngologie a foniatrie v současné praxi*. Praha: Grada publishing, a.s., 2006. 392 s. ISBN 978-80-247-0529-3
- [2] ČÍHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. 2. vyd. Praha: Grada publishing, a.s., 2004. 692 s. ISBN 80-247-1132-X.
- [3] DYLEVSKÝ, Jan. *Funkční anatomie*. Praha: Grada publishing, a.s., 2009. 544 s. ISBN 978-80-247-3240-4
- [4] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada publishing, a.s., 2003. 772 s. ISBN 80-247-0512-5
- [5] NOVÁKOVÁ, Iva. *Ošetrovatelství ve vybraných oborech*. Praha: Grada publishing, a.s., 2011. 235 s. ISBN 978-80-247-3422-4
- [6] MRÁZKOVÁ, Eva. *Základy audiologie a objektivní audiometrie: medicínské a sociální aspekty sluchových vad*. Ostrava: Ostravská univerzita, 2006. 121 s. ISBN 9788073682265
- [7] Uživatelský dokument firmy Otometrics Madsen. *Madsen OTOflex 100 User Manual*. GN Otometrics, a.s., 2009. 268 s. Doc.no. 7-50-0880/11
- [8] WikiSkripta. *Nervus vestibulocochlearis* [online]. 2006. [2011-11-10]. Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Nervus_vestibulocochlearis>
- [9] American Speech-Language-Hearing Association. *Tympanometry* [online]. 1988. [2011-11-10]. Dostupné z: <<http://www.asha.org/docs/html/RP1988-00027.html>>
- [10] MCSPADEN, Jay B. *Basic tympanometry in the Dispensing Office* [online]. 2006. [2011-11-10]. Dostupné z: <http://www.hearingreview.com/issues/articles/2006-11_04.asp?frmTagFilePath=%2Fhearing_testing%2Easp>

Příloha 1:

1 MĚŘENÍ TYMPANOMETRIE

1.1 Cíl úlohy

Cílem úlohy je demonstrovat význam a ukázkou měření tympanometrie s výbavností třmínkového reflexu.

Získané znalosti:

- Princip a význam tympanometrie a třmínkového reflexu
- Základní vlastnosti tympanometru
- Vyhodnocení tympanogramu

1.2 Zadání

- Prostudujte dokumentaci k tympanometru OTOflex 100
- Sestavte měřicí řetězec
- Zjistěte průchodnost ušního kanálku pomocí otoskopie
- Kalibrace sondy Probe check
- Proveďte tympanometrické vyšetření s výbavností třmínkového reflexu

1.3 Předpokládané znalosti

Madsen OTOflex 100 User Manual

Skripta předmětu Audiometrie kapitola 3.2 Základy objektivní audiometrie

Skripta předmětu Senzory a snímače v biomedicíně kapitola 11.2 Měření poškození sluchu

1.4 Použité vybavení

- tympanometr OTOflex 100
- napájecí zdroj
- počítač se softwarem OTOSuite
- náhradní ušní špunty k sondám
- propojovací kabely tympanometr – PC
- otoskop

1.5 Teoretický rozbor

Sluch je jedním ze základních smyslů každého živočicha. Sluch je proces, při němž se přenášejí zvuky okolí pomocí mechanického vlnění částic vzduchu jednotlivými částmi ucha (vnější, střední a vnitřní) a dále sluchovou dráhou do mozku, kde jsou informace zpracovávány a vyhodnocovány. Mechanické vlnění částic je převáděno prostřednictvím převodního aparátu zahrnujícího boltce, zevní zvukovod, bubínek a řetězec kůstek. Vliv boltce na přenášení zvukových vln je malý a souží pouze k jejich usměrnění. Zevní zvukovod přivádí zvukovou

vlnu k bubínku. Díky jeho trychtýřovitému tvaru má schopnost koncentrovat zvukové vlny tak, aby byl podnět co nejsilnější. Bubínek je mechanickým vlněním částic rozkmitáván (působením na jeho plochu) směrem dovnitř a ven. Tyto vibrace ustávají téměř zároveň se zvukovými vlnami. Stav bubínku může ovlivnit přenos zvuku. Bubínek musí být elastický, celistvý a na jeho vnější i vnitřní plochu musí působit přibližně stejný tlak. Aby tomu tak bylo, musí být průchodná Eustachova trubice, která celé středouší zavzdušňuje a má rovněž za úkol odvádět možný výpotek. Pohyby tympanické membrány jsou díky řetězu sluchových kůstek v pořadí kladívko, kovádlíka, třmínek přeneseny do oválného okénka vestibula. Systém sluchových kůstek funguje na principu soustavy pák, přeměňující chvění bubínku na pohyb třmínku. Tedy kůstky mění kmity o velké amplitudě s malou intenzitou na kmity o malé amplitudě avšak s velkou intenzitou. Díky velké intenzitě se rozkmitává perilymfa, která pak přenáší kmitání na endolymfu a následně pak mohou být kmity vnímány sluchovým receptorem v blanitém hlemýždi. V blanitém hlemýždi pak dochází k dráždění Cortiho orgánu, kde vznikají akční potenciály, které jsou pak jako vzruchy přenášeny neurony do mozkového kmene.

Tympanometrie je druh vyšetření používané k testování funkce středního ucha a mobility bubínku a kůstek středního ucha změnou tlaku v ušním kanálku. Tympanometrie se řadí mezi objektivní vyšetřovací metody funkcí středního ucha. Princip tympanometrie je založen na množství přijaté akustické energie odražené od bubínku. Samotné měření tympanometrie pak spočívá v tom, že se vzduchotěsně utěsní pacientovi zvukovod zátkou, kterou vedou tři kanálky. První kanálek slouží k vyslání tónu o určité frekvenci (většinou 200 – 300 Hz). Druhým kanálkem je měřeno množství odražené akustické energie, která se odrazí zpět od bubínku při vyslání tónu, a poslední třetí kanálek je určen k možnosti měnit tlak ve zvukovodu. Běžně se tlak ve zvukovodu moc neliší od tlaku vzduchu ve středouší a při tomto stavu je také převodní ústrojí nejpoddajnější (impedance je nejmenší).

Čím je v zevním zvukovodu vyšší tlak, tím je bubínek více tlačěn směrem do středouší a impedance se tím více zvyšuje. Je-li naopak v zevním zvukovodu nízký tlak, bubínek je tlačěn směrem ven a impedance se tímto opět zvyšuje. Při měření tympanometrie se mění tlak ve zvukovodu pomocí přívodního kanálku jdoucí skrze zátku a postupuje se podle řady +200, +100, +50, 0, -50, -100, -200, -300, -400 mm H₂O. Tím dostaneme tympanometrickou křivku, kde se vyhodnocují atributy jako vrchol křivky, tvar křivky, výška křivky a typ křivky.

Součástí tympanometrického vyšetření je také vyšetření tzv. výbavnosti třmínkových reflexů. Jde o měření kontrakcí třmínkového svalu po vyslání tónu o určité frekvenci do zvukovodu. Třmínkový reflex vzniká na základě akustické stimulace stahu třmínkového svalu a tím vzniká změna impedance systému. Sval se začíná kontrahovat už při stimulaci po 10 ms, kdy ale po 10 ms dochází ke snížení kontrakce zhruba o 10 – 30 %. K úplné kontrakci dochází po 65 ms a k maximální kontrakci dochází a i k maximální výchylce v grafickém znázornění dochází na hladině 15 – 20 dB nad prahem reflexu. Třmínkový reflex nám udává poddajnost a správnou funkci a impedanci středoušního převodního systému (středoušní kůstky). Vyvolání třmínkového reflexu akustickým drážděním indikuje o dostatečné hlasitosti zvukového podnětu. Dále to také znamená, že řetěz kůstek je pohyblivý a celistvý a také, že reflexní inervační oblouk akusticko-faciální je neporušen. Z měření třmínkových reflexů se také zjišťuje hladina hlasitosti na stimulovaném uchu, typ nedoslýchavosti, únavnost sluchového orgánu atd.

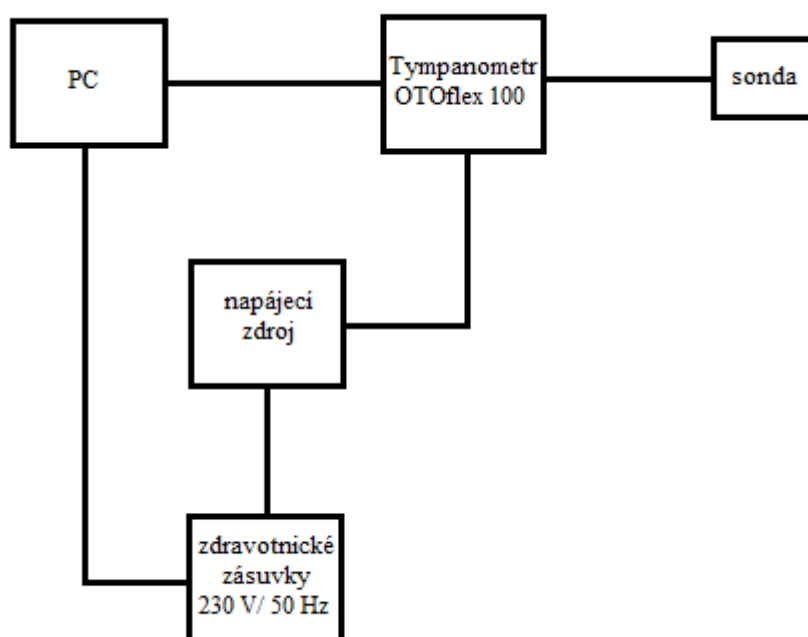
1.6 Pracovní postup

1.6.1 Postup k bodu č.1 zadání:

1. Prostudujte přiloženou dokumentaci k tympanometru OTOflex 100.
2. Nastudujte parametry tympanometru co do rozměrů, napájecího napětí, přesnosti a rozsahu měření.
3. Prostudujte přiloženou bakalářskou práci [VYB0006].

1.6.2 Postup k bodu č.2 zadání:

1. Sestavte měřicí řetězec podle obrázku č.1.



Obrázek 1: Blokové schéma zapojení měřicího řetězce

2. Napájecí zdroj připojte až po sestavení měřicího řetězce a po kontrole vyučujícího.
3. Při sestavování a zapojování řetězce dodržujte zásady bezpečnosti práce v elektrotechnice se zdravotnickými přístroji.

1.6.3 Postup k bodu č.3 zadání:

1. Polohujte měřenou osobu tak, aby byl lehký přístup k testovanému uchu.
2. Uchopte boltec a jemně za něj zatáhněte nazpátek a směrem od hlavy testované osoby.
3. Proveďte otoskopii k posouzení stavu vnějšího ucha před vložení sondy.
Je-li při otoskopii ve zvukovodu viditelné zúžení, je možné, že je zvukovod blokován nečistotou.
4. Jestliže je zvukovod zanesen nečistotou, je nutné zvukovod vyčistit. Nečistota ovlivňuje naměřené výsledky.

1.6.4 Postup k bodu č.4 zadání:

Kalibrace sondy by se měla provádět před každým měřením nebo změnou některých parametrů přístroje. Kalibrace sondy se provádí pro ujištění, že sonda měří správně a věrohodně.

1. Před zavedením do testovací dutiny se přesvědčte, že je sonda neznečištěná.
2. V nabídce se Menu vyberte možnost Probe check.
3. Zaveďte špičku sondy (bez špuntu) do testovací dutiny v nabíječce. Kalibrace se spustí sama.
4. Po skončení kalibrace je sonda připravena a prověřena proti úniku vzduchu. Je-li sonda v pořádku, je automaticky kalibrovaná na 2 cm³.

Není-li sonda v pořádku, prověřte následující kroky:

- Ujistěte se, zda je těsnící kroužek špičky sondy na místě a upevněn.
- Ujistěte se, že jsou zvukové kanály v sondě průchozí a sonda je připojena.
- Zkontrolujte, zda nastavení tlaku a nadmořské výšky (Menu > Advanced > Device settings > Altitude ab. sea) odpovídá geografické oblasti (barometrický tlak může ovlivňovat naměřené hodnoty).


1.6.5 Postup k bodu č.5 zadání:

1.6.5.1 Tympanometrie

1. Spust'te program OTOSuite.
2. Nastavte parametry měření:
 - vhodná frekvence tónu: Menu > Select > Probe tone
 - maximální hodnota tlaku: Tools > Options > Tymp. and Reflex Scr. > Pressure axis - Range
3. Správně zaveďte sondu do ucha měřené osoby.
4. Zmáčkněte tlačítko Start v ovládacím panelu ke spuštění tympanometrického vyšetření.
5. Je-li zjištěno unikání vzduchu (netěsnost sondy), je to indikováno na obrazovce
6. Po dokončení měření jednoho ucha, sondu vyjměte, zaveďte do druhého a opakujte předešlé kroky 3.-4.

1.6.5.2 Třmínkový reflex

Před započítím tohoto kroku měření upozorněte osobu o vysokých úrovních stimulujících tónů a požádejte měřenou osobu, aby seděla klidně, tiše a nehnutě během měření bez pohybu hlavy nebo čelistmi.

1. Stiskněte klávesu PageDown nebo myší vyberte záložku View > Immitance pro vyvolání nabídky ovládacích prvků třmínkového reflexu.
2. Nastavte požadovanou hladinu hledaného třmínkového reflexu volbou Tools > Options > Reflex Treshold > Stimulus Types
3. Spust'te poloautomatické měření kliknutím na tlačítko  .

4. Vyčkejte, než přístroj doměří třmínkový reflex, vyjměte sondu a opakujte měření pro druhé ucho.

1.6.5.3 Rozpad třmínkového reflexu

1. Stiskněte klávesu PageDown a nebo vyberte záložku View > Immittance myší pro vyvolávání nabídky rozpadu třmínkového reflexu.
2. Stiskněte klávesu Start v sekci Auto ovládacího panelu. Tím spustíte plně automatické měření rozpadu třmínkového reflexu.

Je-li potřeba přerušit měření z důvodu nepříjemného pocitu měřené osoby, stiskněte tlačítko Pause na ovládacím panelu.

Následně pokračujte opětovným stiskem tlačítka Pause. Měření bude pokračovat tam, kde skončilo.

3. Je-li v Tools > Options > General > Auto resume on seal zapnuto, měření bude pokračovat, jakmile bude sonda opět správně utěsněna.

1.7 **Kontrolní otázky**

- 1) Jaký je měřicí rozsah systému tlaku vzduchu?
- 2) Jaká je frekvenční přesnost měřicího přístroje?
- 3) Uveďte hodnotu frekvence generovaného tónu procházejícího zvukovodem.
- 4) Které atributy se hodnotí u tympanometrické křivky?
- 5) Jaké jsou normální hodnoty pro výšku vrcholu křivky?
- 6) Co je to akustická admitance?
- 7) Jakou fyzikální veličinu měříme pomocí tympanometru?